

~~VI 18-1~~

30-0182/001

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG



LANGZEITVERSUCHE AN STAHLBETONSTÜTZEN

JUNI 1972

DK 691.328

V o r w o r t

Der vorliegende Bericht über

LANGZEITVERSUCHE AN STAHLBETONSTÜTZEN

ist in zwei voneinander weitgehend unabhängige Teile gegliedert. In Teil I werden die im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau durchgeführten Versuche an 12 schlanken Stahlbetonstützen unter Dauerlast beschrieben und ausgewertet. Teil II bietet eine vorwiegend für die Bedürfnisse der Praxis zugeschnittene Deutung und Auswertung der Versuchsergebnisse und zeigt die Ableitung eines vereinfachten Berechnungsverfahrens zur Berücksichtigung des Kriecheinflusses auf die Traglast. Die Ergebnisse dieses Teiles II wurden bereits im Entwurf zu DIN 4224 berücksichtigt und bilden im Vorabdruck dieser DIN-Vorschrift, im Heft 220 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, im Abschnitt 4.2.2 "Berücksichtigung des Kriechens" den wesentlichen Inhalt.

Die Versuche wurden durch die AIF - Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen E.V. - in großzügiger Weise gefördert. Eine Beratergruppe, bestehend aus den Herren Professoren B e c k und G a e d e, sowie Dr. K i r c h n e r und Dr. S t i l l e r wurde mehrfach über Planung, Fortgang und Ergebnisse der Versuche informiert und gab wertvolle Ratschläge und Hinweise.

Die 12 Langzeitversuche mußten in mehreren Abschnitten durchgeführt werden, da der Klimaraum nur für jeweils 4 Stützen - mit einer Länge von mehr als 5,0 m - Aufstellungsmöglichkeit bot. Hierdurch ergab sich eine Bearbeitungszeit von mehr als 4 Jahren und ein mehrfacher Wechsel der Sachbearbeiter. An dieser Stelle sei den Herren Dipl.-Ing. D ö h n e r, Dipl.-Ing. H j o r t h und grad. Ing. K l i n k e r t neben den anderen an der Versuchsdurchführung beteiligten Mitarbeitern besonders gedankt. Ein

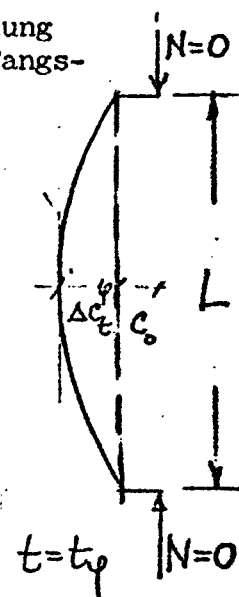
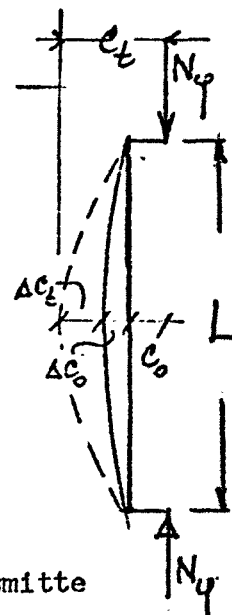
glücklicher Umstand führte Prof. R.F. W a r n e r von der University of New South Wales in Kensington für ein Jahr nach Braunschweig; seine besonderen Erfahrungen und Bemühungen haben wesentlich zur bevorzugten Fertigstellung des Teiles II und zur Nutzung der Forschungsergebnisse für DIN 4224 beigetragen .

K O R D I N A

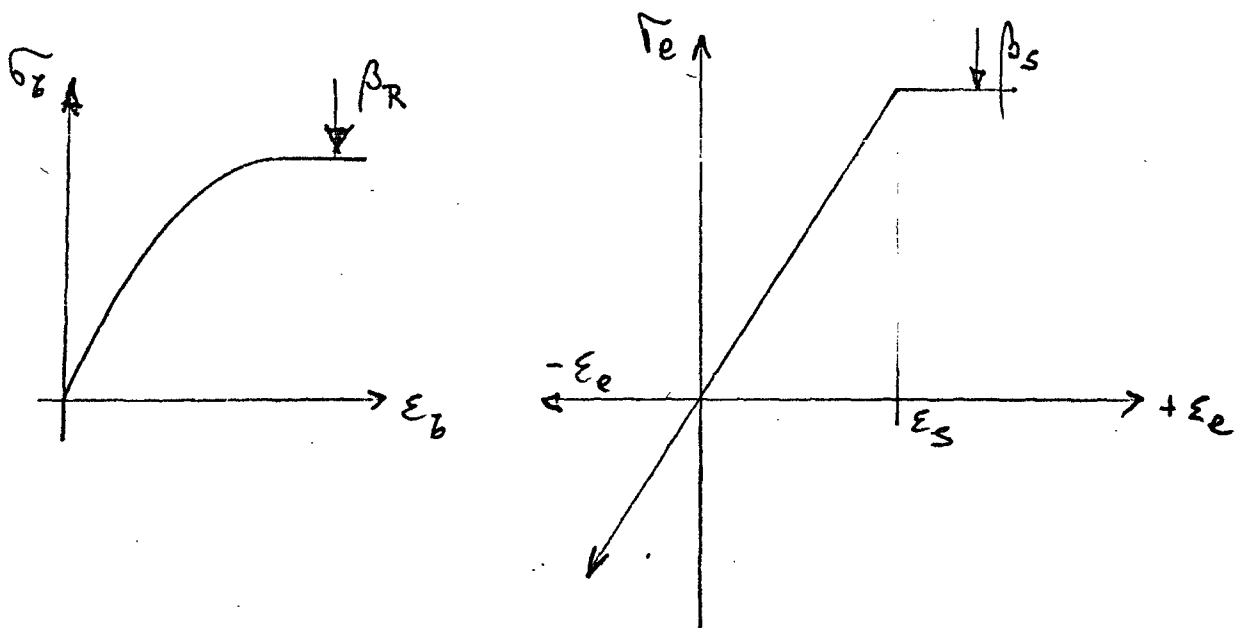
Braunschweig, im Mai 1972

Liste der Bezeichnungen

b	Breite des Querschnittes
d	Höhe des Querschnittes
d'	Abstand zwischen den Achsen der Zug- und Druckbewehrung
e_u	ungewollte Ausmitte
c	planmäßige Ausmitte
c_o	$= c + e_u$; Anfangsexzentrizität
Δc_o	zusätzliche elastische Ausbiegung zum Zeitpunkt $t = 0$
c_{to}	$= c_o + \Delta c_o$; Gesamtausmitte unmittelbar nach dem Aufbringen der Last zum Zeitpunkt $t = 0$
c_t	Gesamtausmitte zum Zeitpunkt t
Δc_t	$= c_t - c_{to}$; im Zeitraum t eintretender Zuwachs der Ausmitte
Δc_t^e	elastischer Anteil von Δc_t
Δc_t^φ	Kriechanteil von Δc_t
c_o'	$= \alpha_f \cdot c_o$; erster Term einer Fourier-Reihe zur Darstellung der über die Stützenlänge veränderlichen Anfangsausmitte c_o
c_{to}'	$= c_o' \frac{\gamma}{\gamma-1} \approx c_o' \frac{\gamma'}{\gamma'-1}$ modifizierte Gesamtausmitte zum Zeitpunkt $t = 0$
c_t'	modifizierte Gesamtausmitte zum Zeitpunkt t
E	Elastizitätsmodul des Betons
E_s	Elastizitätsmodul des Stahls
$(EI)_w$	wirksame Steifigkeit für die gesamte Stütze
F_e, F_e'	Querschnittsfläche der Zug bzw. Druckbewehrung
F_b	Beton-Querschnittsfläche
I	Trägheitsmoment des Betonquerschnitts, hier $I = \frac{bd^3}{12}$
k	Kernweite, hier $k = d/6$
L	Knicklänge
μ	$=$ geometrischer Bewehrungsgehalt der Zugbewehrung
μ'	$=$ geometrischer Bewehrungsgehalt der Druckbewehrung
μ_{ges}	$= \mu + \mu'$; Gesamtbewehrungsgehalt



N_φ	Dauerlast
N_U	Bruchlast unter Kurzzeitbelastung im Versuch
t_0	Belastungsalter; t_φ = Belastungsdauer
α_f	$= c'_0/c_0$
α_k	$= \varphi'_t/\varphi_t$
α_s	$= (EI)_w/EI$
η	$= d'/d$
δ	ein von der Form der Anfangsexzentrizität e_0 abhängiger Beiwert
ν	$= \frac{\pi^2 E I}{N_\varphi L^2}$
ν'	$= \frac{\pi^2 \alpha_s E I}{N_\varphi L^2}$
φ_t	Kriechzahl zum Zeitpunkt t
φ_∞	Endkriechzahl
$\varepsilon_{s\infty}$	Endschwindmaß
$\beta_s; \varepsilon_s$	Fließspannung bzw. Fließdehnung des Stahles,
$\beta_R; \varepsilon_u$	Festigkeitsgrenze bzw. Grenzstauchung des Betons, $\beta_R = 0,85 \beta_W$
β_W	Würfelfestigkeit des Betons



Teil I

"Langzeitversuche an Stahlbetonstützen"

Karl Kordina

1. Vorbemerkung:

Im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau wurden in den letzten Jahren Langzeit-Kriechversuche an 12 schlanken Stahlbetonstützen durchgeführt. Die Versuche erfolgten im Klimaraum bei etwa 20°C und 65 % rel. Feuchte. Die Kriechlasten lagen zwischen 25 und 62 % der Kurzzeittraglast, die die Versuchsstützen im Augenblick des Aufbringens der Dauerlast besaßen. Es wurden Stützen mit Längsbewehrung aus Stahl I und aus Stahl III untersucht, die Bewehrungsgehalte variierten im praxisüblichen Anwendungsbereich. Die Stützen blieben ein bis zwei Jahre unter Last. Die Ausbiegungsvergrößerungen und Kriechverformungen des Betons im Bereich der Stützenmitte wurden gemessen; die Entlastung der Stützen erfolgte erst dann, wenn die Endwerte der Kriechverformung bzw. der Ausbiegungsvergrößerung hinreichend genau abgeschätzt werden konnten. Keine der Versuchsstützen versagte unter Dauerlast, doch zeigten mindestens zwei Versuchsstützen Anzeichen dafür, daß sie nahe am Versagen waren.

Der folgende Bericht enthält die wichtigsten Versuchsergebnisse, überwiegend in tabellarischer Form zusammengestellt. Für eine rasche Information wird auf die Tabellen 1, 3 und 4 verwiesen, wo die wichtigsten Versuchsergebnisse abgelesen werden können.

Den Langzeitversuchen gingen eine Reihe von Kurzzeitversuchen an schlanken Stahlbetonstützen voraus, zu welchen jeweils auch die

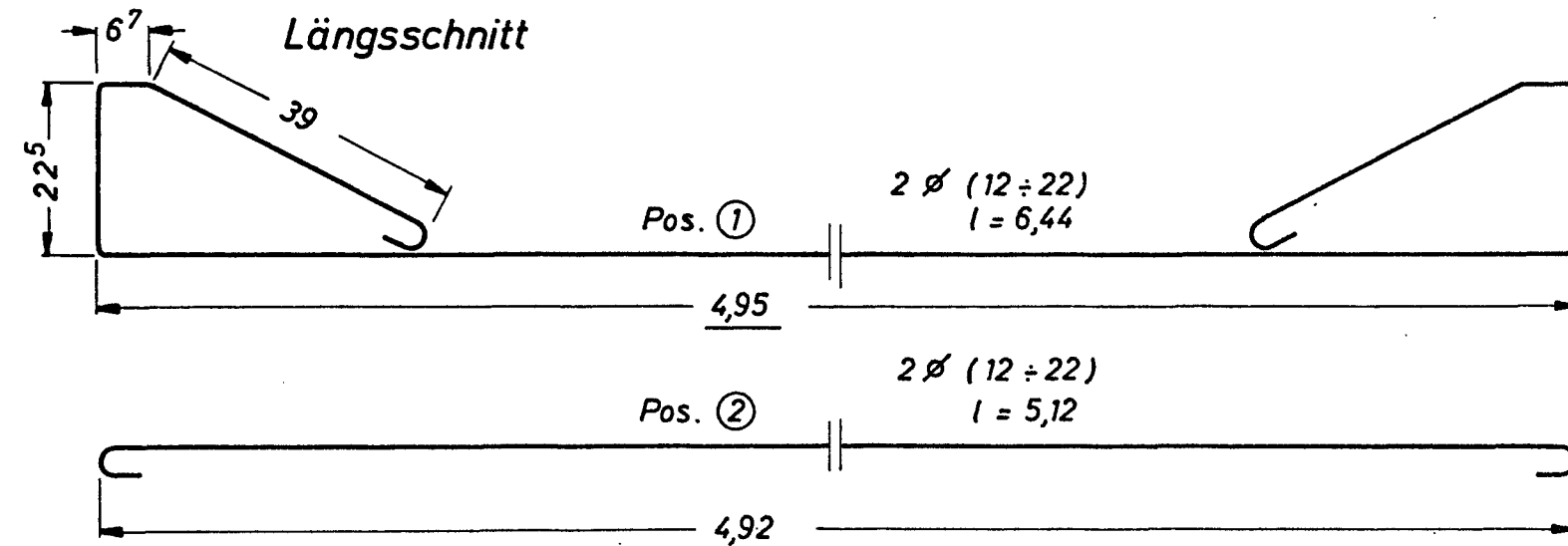
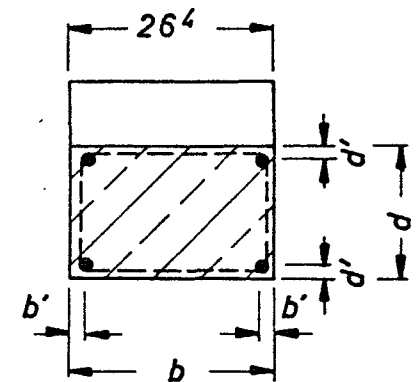
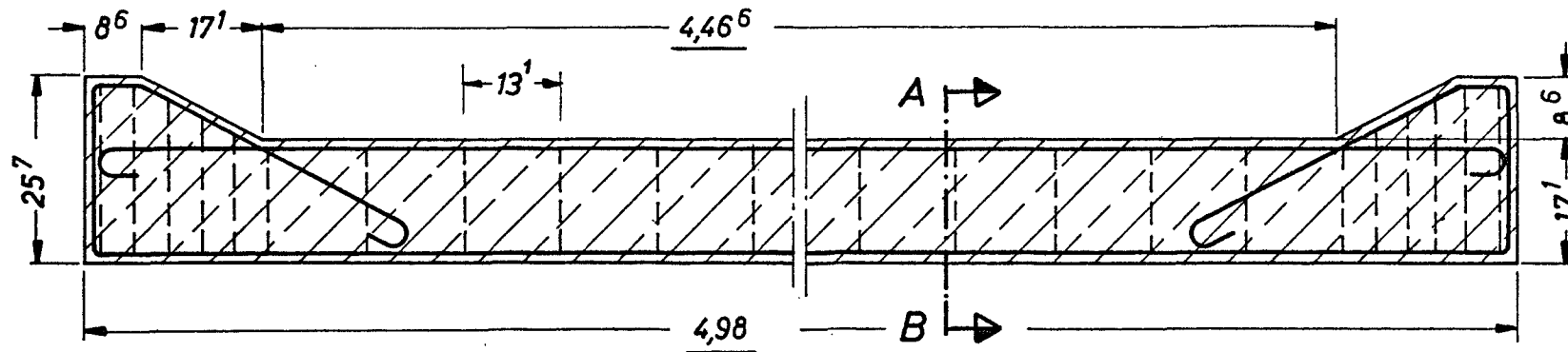
Kennwerte der Biegedruckzone im Versuch ermittelt wurden, um auf diesem Wege Grundlagen für eine Nachrechnung der Versuchsergebnisse und Überprüfung der rechnerischen Ergebnisse zu gewinnen. Es zeigte sich, daß die verwendeten rechnerischen Methoden eine befriedigend genaue Wiedergabe der Kurzzeit-Traglasten der Stützen gestatten und die Rechengrundlagen der DIN 1045, insbesondere das Parabel-Rechteck-Diagramm, für die Beschreibung der Biegedruckzone, auch für schlanke Stützen herangezogen werden können. Die in DIN 1045 angegebenen maximalen Randdehnungen für Beton und Stahl können allerdings bei Traglastproblemen der vorliegenden Art nur selten ausgenützt werden.

2. Beschreibung der Versuchskörper und Versuchsdurchführung

In den Jahren 1968 bis 1971 wurden insgesamt 12 Langzeitversuche an schlanken Stahlbetonstützen im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau durchgeführt. Diese Versuchsstützen besaßen einheitlich Rechteckquerschnitt mit $d \cdot b = 17,3 \cdot 26,6 = 460 \text{ cm}^2$ Querschnittsfläche und eine Knicklänge - gerechnet als Abstand der Lagerpunkte - von 514 cm. Die Schlankheit betrug somit $L_k/d = 514/17,3 = 30 (\lambda \approx 100)$. Überwiegend lag die Lastausmitte in der Größenordnung von $e/d = 0,2$; einige Versuche wurden allerdings auch mit größeren planmäßigen Ausmitten durchgeführt. Die Wahl der Lastausmitte erfolgte unter dem Gesichtspunkt, Beanspruchungsverhältnisse zu erhalten, unter welchen unter Dauerlast ein Übergang von Stadium I nach Stadium II erfolgt, was im Hinblick auf das Versuchsziel besonders interessant erschien.

Die Längsbewehrung der Stützen wurde aus BSt 22/34 (Stahl I) und BSt 42/50 (Stahl III) ausgeführt; die Bewehrungsgehalte $\mu = \sum F_e/F_b$ wurden zwischen 1,0 % und 3,2 % gewählt, so daß der Einfluß erhöhter Längsbewehrung auf das Kriechverhalten schlanker Stützen erkennbar wird. (Bild 2.1)

Bewehrung der Langzeit - Stützenversuche (Abmessungen $\hat{=}$ Sollwerten) Bild 2.1



Querschnitt A ÷ B

Betonüberdeckung
der Bügel 1,0 cm

M 1 : 10

Serie 1								Serie 2								Serie 3							
Versuch	Stahl - güte	Längsbewehrung					Bügel	Versuch	Stahl - güte	Längsbewehrung					Bügel	Versuch	Stahl - güte	Längsbewehrung					Bügel
		Ø mm	b' cm	b'/b	d' cm	d'/d				Ø mm	b' cm	b'/b	d' cm	d'/d				Ø mm	b' cm	b'/b	d' cm	d'/d	
I	I	12	2,1	0,08	2,1	0,12	5	V	III	12	2,2	0,08	2,2	0,13	6	IX	III	12	2,2	0,08	2,2	0,13	6
II	I	12	2,1	0,08	2,1	0,12	5	VI	III	18	2,7	0,10	2,7	0,16	8	X	III	18	2,7	0,10	2,7	0,16	8
III	I	12	2,1	0,08	2,1	0,12	5	VII	I	12	2,2	0,08	2,2	0,13	6	XI	I	12	2,2	0,08	2,2	0,13	6
IV	I	12	2,1	0,08	2,1	0,12	5	VIII	III	22	2,9	0,11	2,9	0,17	8	XII	III	22	2,9	0,11	2,9	0,17	8

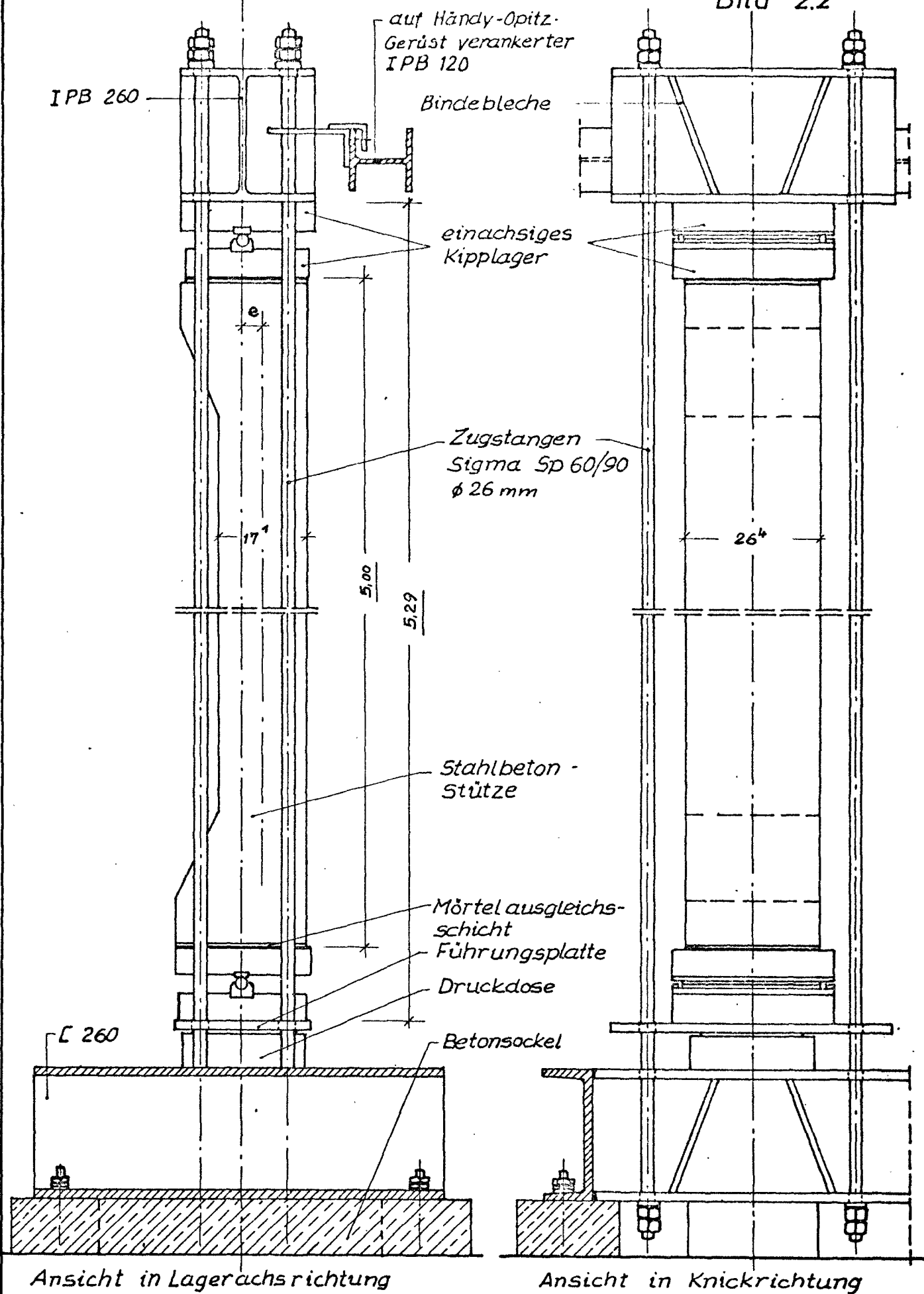
Die 12 Langzeitversuche wurden in drei Gruppen durchgeführt, die vor allem durch das Belastungsalter unterschieden waren: Die erste Gruppe von 4 Stützen wurde in einem Betonalter von 200 bis 340 Tagen belastet, die zweite Gruppe in einem Alter von etwa 60 bis 100 Tagen, die dritte Gruppe in einem Betonalter von 28 Tagen. Die Betongüten bewegten sich im Bereich zwischen 270 und 470 kp/cm², ermittelt am 20 cm -Würfel im Alter von 28 Tagen.

Parallel zu den Stützenversuchen wurden Nebenversuche durchgeführt, die Aufschluß über die Größe des Elastizitätsmoduls des Betons und über sein Kriech- und Schwindverhalten geben sollten. Außerdem stand eine hinreichende Anzahl von Gütewürfeln zur Verfügung, um die Festigkeitsentwicklung des Betons während der Dauerbelastung der Stützen verfolgen zu können. In weiteren Nebenversuchen wurden Spaltzugfestigkeit, Biegezugfestigkeit und Festigkeit der Biegedruckzone untersucht.

Die Dauerbelastung der Stützen und der in Parallelversuchen geprüften Kriechkörper erfolgte in Klimäräumen mit Hilfe einer hydraulischen Belastungseinrichtung, wobei die Last durch den Druck in einer Preßluftflasche geregelt und konstant gehalten wurde. (Bild 2.2 u. 2.3) Verformungsmessungen wurden überwiegend auf mechanischem Wege durchgeführt, nur für einige wenige Meßaufgaben wurden auch Dehnungsmeßstreifen herangezogen. Trotz Durchführung der Langzeitversuche im Klimaraum bestanden nämlich Bedenken gegen die sogenannte Nullpunkt Konstanz der verwendeten elektronischen Meßeinrichtungen.

Sämtliche Langzeitversuche erfolgten im Klimaraum bei 20°C ($\pm 1,5^{\circ}\text{C}$) und 65 % rel. Feuchte ($\pm 3\%$).

Bild 2.2



Belastungseinrichtung der Langzeit-Versuche

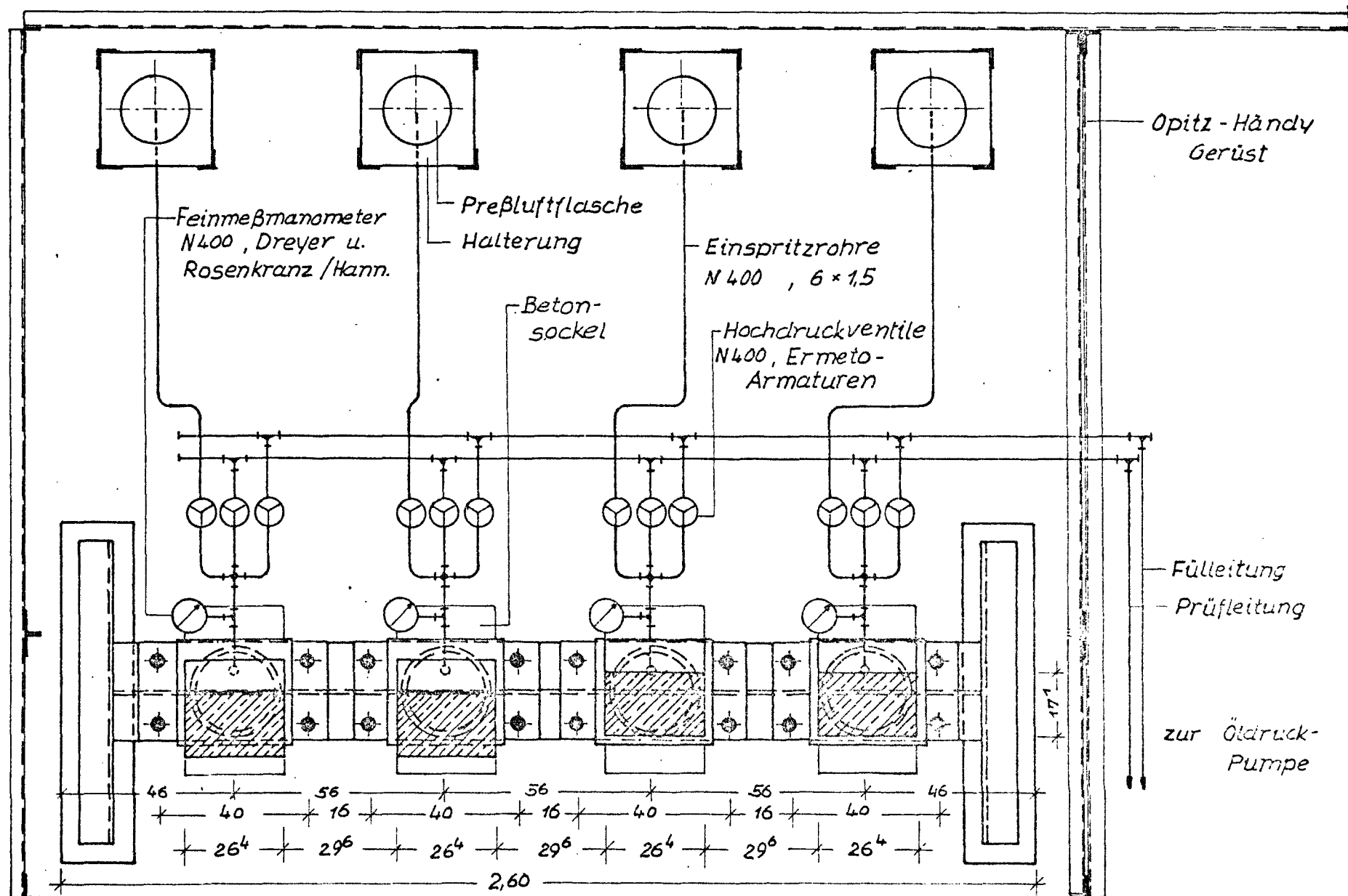


Bild 2.3

Belastungseinrichtung der Langzeit-Versuche

3. Tabellarische Übersicht der Ergebnisse der Hauptversuche

In Tabelle 1 sind die Stützenabmessungen und Baustoffkennwerte zusammengefaßt.

In Bild 3.1 sind die Querschnitte der 4 Stützentypen aufgezeichnet, die sich vor allem durch die Dicke der Längsbewehrungsstäbe unterscheiden. In diesem Bild wurden die Sollmaße der Überdeckung und daraus die Hilfswerte h'/d und $\mu = 1 - 2 \cdot h'/d$ angegeben. Es zeigt sich deutlich, daß durch die Wahl eines vergleichsweise kleinen Querschnitts die Längsbewehrungsstäbe sehr weit "innen" liegen. Die Querschnittsabmessung in Knickrichtung ($d = 17,2 \text{ cm}$) konnte nicht vergrößert werden, weil eine Schlankheit $L_K/d = 30$ anzustreben war und der Klimaraum hinsichtlich seiner nutzbaren Höhe mit knapp 6,0 m begrenzt war. Es mußte daher hingenommen werden, daß die Lage der Bewehrung gegenüber praxisüblichen Ausführungen abwich. Dieser Umstand beeinflusst zwar die Kurzzeittraglast der Stützen und ihre Biegesteifigkeit, kann aber hinreichend genau erfaßt werden.

In Tabelle 2 wurden die Istmaße der Querschnittswerte und der Lage der Längsbewehrung zusammengestellt.

Bild 3.2 soll einen Eindruck vermitteln von der Bedeutung des Randabstandes der Bewehrung für die Höhe der Traglast.

Die Kurzzeittraglasten $N_{U,0}$ der 12 Versuchsstützen wurden mit Hilfe eines eigenen Computer-Programmes ermittelt, das so aufgebaut war, daß die tatsächlich vorhandenen Werkstoffgüten für Beton und Stahl sowie die Querschnittsabmessungen einschließlich der Lage der Bewehrung wirklichkeitsgetreu berücksichtigt werden konnten. Die ausnutzbare Rechenfestigkeit des Betons wurde zu 85 % der im betrachteten Betonalter im Mittel vorhandenen Würfelfestigkeit angesetzt. Als Spannungs-Dehnungslinie des Betons diente ein Parabel-Rechteckdiagramm, wie in DIN 1045 beschrieben.

Tabelle 1: Stützenabmessungen und Baustoffkennwerte

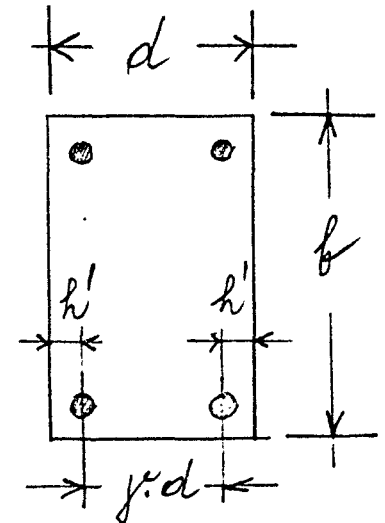
Serie	Bez. der Stütze	Geometrische Größen						Bewehrung							Beton					
		Querschnitt		Knick- länge L_K	Schlank- heit L_K/d	Lastaus- mittigkeit		Längsbewehrung			Bügel		Stahlgüte			Beton- alter bei Belastung t_0	Betonfestigkeit		E-Modul	
		b/d	F_b			c_o	c_o/d	\emptyset	ΣF_e	$\mu = \mu'$	\emptyset	γ	Bez.	β_s	β_B		R_W 28	R_{W0}	E_{28}	E_0
-	-	cm	cm ²	cm	-	cm	-	mm	cm ²	%	mm	-	-	kp/cm ²	kp/cm ²	Tage	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
1	I	26,5/17,2	455	514	29,9	8,55	0,497	12 ^I	4,64	0,510	5 ^I	0,75	22/34	2665	3789	338	301 ⁺⁺	334	282	300
	II	26,6/17,2	457	514,5	29,9	8,55	0,497	12 ^I	4,64	0,507	5 ^I	0,75	"	"	"	200	300 ⁺⁺	337	238	260
	III	26,5/17,3	458	514,5	29,7	3,42	0,198	12 ^I	4,64	0,506	5 ^I	0,75	"	"	"	280	293 ⁺⁺	362	255	280
	IV	26,4/17,1	451	513,5	30,0	3,42	0,200	12 ^I	4,64	0,515	5 ^I	0,75	"	"	"	222	267 ⁺⁺	296	200	230
2	V	26,9/17,2	462	513,3	29,8	2,49	0,145	12 ^{III}	4,58	0,496	6 ^{III}	0,75	42/50	4581	5629	96	469 ⁺⁺	530	329	360
	VI	26,9/17,4	468	512,5	29,5	3,44	0,198	18 ^{III}	10,15	1,085	8 ^{III}	0,65	"	4621	5529	77	330	390	300	325
	VII	27,2/17,4	473	513	29,5	3,50	0,201	12 ^I	4,66	0,493	6 ^I	0,70	22/34	2668	3943	70	320	361	290	320
	VIII	26,9/17,3	465	513	29,7	3,44	0,199	22 ^{III}	14,7	1,58	8 ^{III}	0,63	42/50	4225	5165	63	345	370	295	320
3	IX	26,5/17,2	456	513,5	29,8	2,49	0,145	12 ^{III}	4,58	0,503	6 ^{III}	0,71	"	4600	"	28	434 ⁺⁺	434	350	350
	X	26,5/17,5	458	513,5	29,7	3,45	0,200	18 ^{III}	10,16	1,11	8 ^{III}	0,66	"	4620	"	28	328	328	319	319
	XI	26,4/17,5	462	513	29,3	3,50	0,200	12 ^I	4,66	0,505	6 ^I	0,73	22/34	2670	"	30	322	322	305	305
	XII	26,5/17,4	461	513	29,5	3,44	0,198	22 ^{III}	14,7	1,59	8 ^{III}	0,63	42/50	4230	"	29	327	327	307	307
+) Knicklänge = Abstand der Lagerdrehpunkte ++) PZ Alemannia Np ~ 450; sonst PZ Hemkenrode Np ~ 350																			$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$

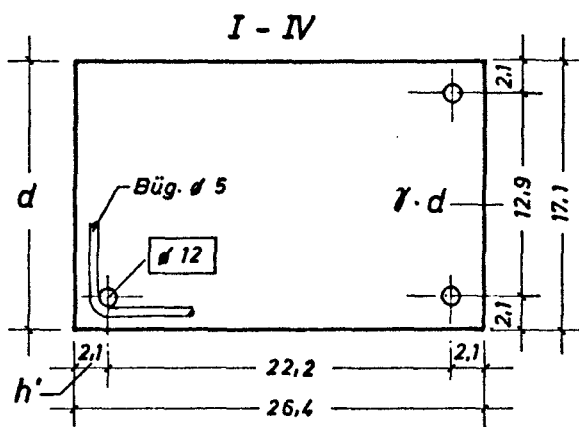
Tabelle 2:

Randabstand der Längsbewehrung

Ist - Maße

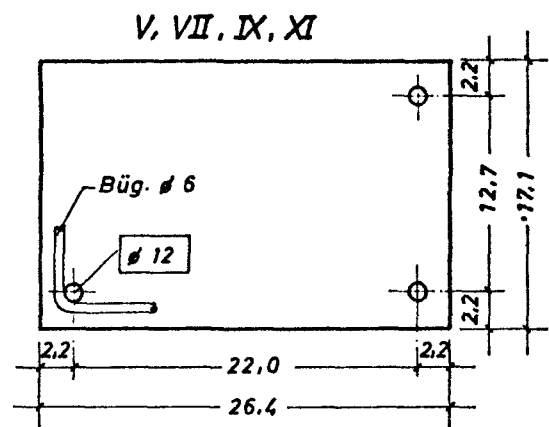
Serie	Bezeichnung der Stütze	\emptyset	BSt	$\emptyset_{Bü}$	h' soll	d	b	F_b	h' ist	h'/d	γ
		mm		mm	cm	cm	cm	cm ²	cm	-	-
1	I	12	I	5	2,1	17,2	26,5	455	2,15	0,125	0,75
	II	12	I	5	2,1	17,3	26,6	457	2,15	0,125	0,75
	III	12	I	5	2,1	17,3	26,6	458	2,15	0,125	0,75
	IV	12	I	5	2,1	17,2	26,4	451	2,15	0,125	0,75
2	V	12	III	6	2,2	17,2	26,9	462	2,15	0,125	0,75
	VI	18	III	8	2,7	17,4	26,9	468	3,05	0,173	0,65
	VII	12	I	6	2,2	17,5	27,2	473	2,60	0,149	0,70
	VIII	22	III	8	2,9	17,3	26,9	465	3,20	0,185	0,63
3	IX	12	III	6	2,2	17,3	26,5	456	2,52	0,146	0,71
	X	18	III	8	2,7	17,4	26,6	458	2,95	0,170	0,66
	XI	12	I	6	2,2	17,6	26,4	462	2,35	0,134	0,73
	XII	22	III	8	2,9	17,4	26,5	461	3,25	0,187	0,63





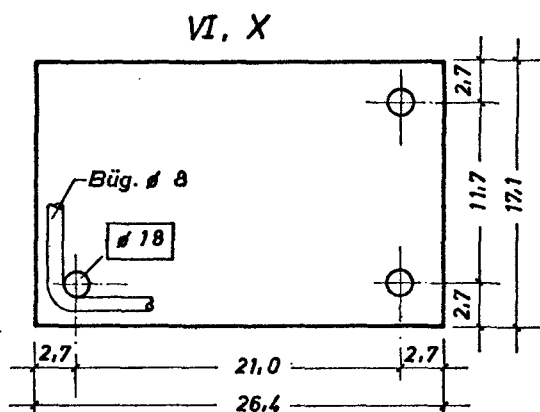
$$h'/d = 2.1/17.1 = 0.122$$

$$\gamma = 1 - 2 \cdot h'/d = 0.754$$



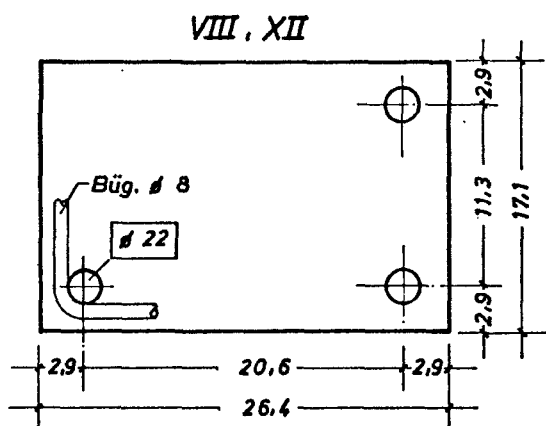
$$h'/d = 2.2/17.1 = 0.129$$

$$\gamma = 1 - 2 \cdot h'/d = 0.742$$



$$h'/d = 2.7/17.1 = 0.158$$

$$\gamma = 1 - 2 \cdot h'/d = 0.684$$



$$h'/d = 2.9/17.1 = 0.170$$

$$\gamma = 1 - 2 \cdot h'/d = 0.66$$

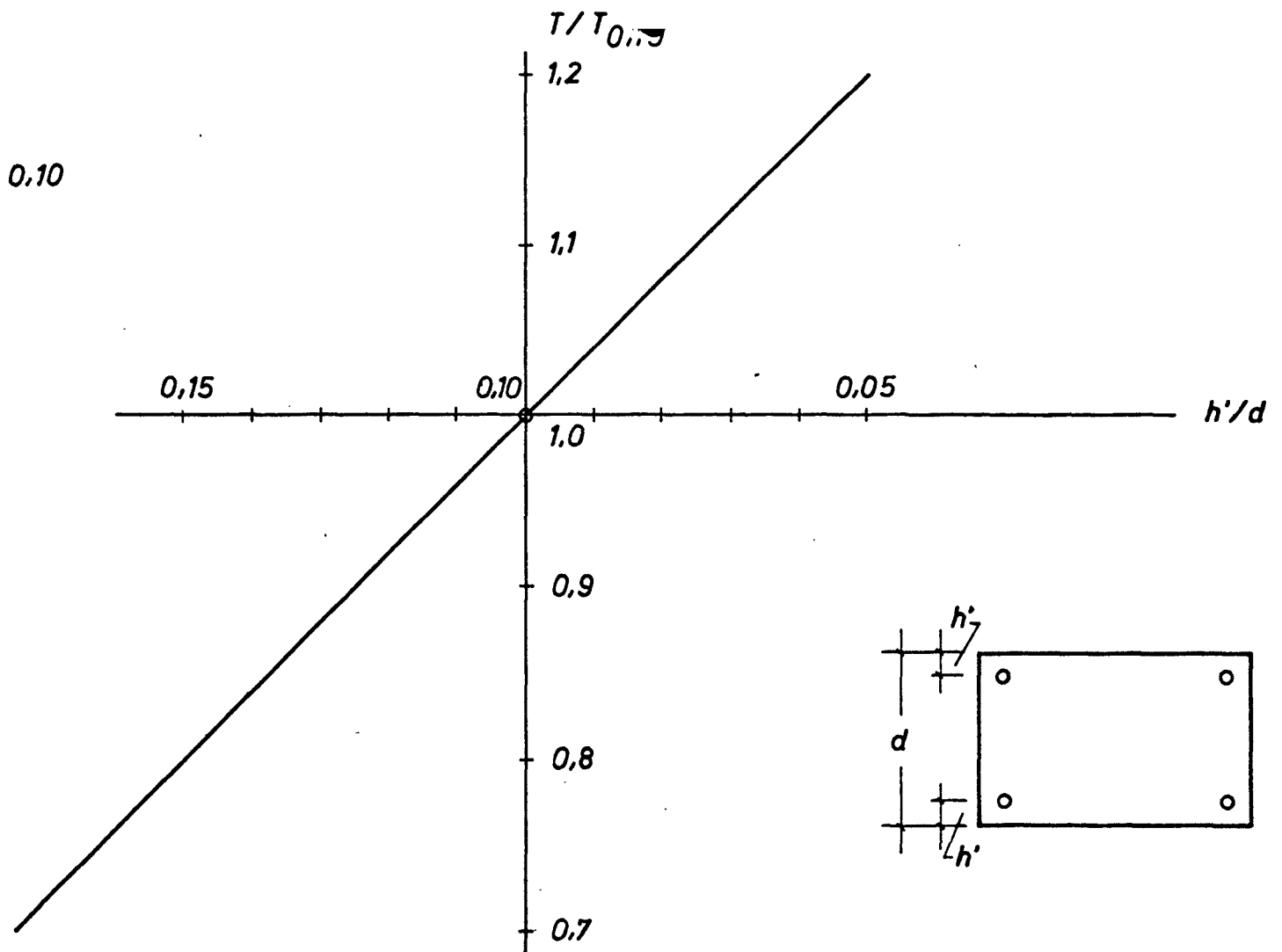
Ableitung der Sollwerte
 $\gamma = 1 - 2 \cdot h'/d$
 für die Stützen I - XII

Betondeckung der Bügel 1.0 cm

$T = \text{Traglast}$

$T_{0,10} = \text{Traglast bei } h'/d = 0,10$

$T/T_{0,10} = \text{Korrekturfaktor}$



Ermittelt nach Bet.-Kal. 1971 $\beta_s/\beta_R = 14$;

$\beta_R \approx 300 \text{ kp/cm}^2$, $\lambda = 100$; $e/d = 0,1$ und gemittelt für

$\mu + \mu' = 0,01$; $0,02$; $0,03$

**Einfluß des Randabstandes auf die
Traglast der Bewehrung**

Bild 3.2

In Tabelle 3 wurden die Dauerlasten N_{φ} , die planmäßigen Ausmitten sowie die während der Dauerlast gemessenen Verformungen zusammengestellt. Außerdem ist dort das Verhältnis $N_{\varphi} / N_{U,0}$ angegeben. Hieraus wird ersichtlich, daß der Belastungsgrad der Stützen sowohl unterhalb als auch oberhalb der zulässigen Last lag. Dabei ist zu beachten, daß zu N nicht aus $N_{U,0}$ abgeleitet werden darf, sondern aus etwas kleineren Kurzzeit-Bruchlasten, die sich durch zusätzliche Berücksichtigung der ungewollten Ausmitte ergeben und je nach Bewehrungsgehalt 0,75 bis 0,9 von $N_{U,0}$ betragen.

In Tabelle 4 wurden die bei der Entlastung der Stützen gemessenen Werte und die Ergebnisse des abschließenden Kurzzeitversuchs zusammengestellt. Außerdem enthält diese Tabelle die Ergebnisse eines Vergleichs zwischen den beim abschließenden Kurzzeitversuch erzielten Bruchlasten N_U und den rechnerisch ermittelten Traglasten $N_{U,\varphi}$. Auch die Werte $N_{U,\varphi}$ wurden unter Berücksichtigung der zum Zeitpunkt des abschließenden Bruchversuches vorhandenen Baustoffgüten mit Hilfe des vorerwähnten Computerprogrammes ermittelt.

Als maßgebende Lastausmitten wurden dabei jene Werte angegeben, die sich in halber Stützhöhe unmittelbar nach der Entlastung von der Dauerlast N_{φ} einstellten :

$$\begin{aligned} c_t - \Delta c'_0 &= c_0 + \Delta c_t^{\varphi} \\ t &= t_{\varphi} \end{aligned}$$

Die bei einigen Stützen beobachtete weitere Verminderung der nach Entlastung verbliebenen Verkrümmung durch Rückkriechen wurde weder bei der rechnerischen Ermittlung der Kurzzeit-Traglast $N_{U,\varphi}$ noch bei den Vergleichen zwischen der gerechneten und der gemessenen "bleibenden Ausbiegung" berücksichtigt. Hierfür war die Überlegung maßgebend, daß die Möglichkeit des Rückkriechens in ganz entlastetem Zustand kaum je bei einer Stütze in der Praxis auftreten wird und die hier beobachteten Rückkriechvorgänge mit Rißbildungen in der

Dauerlasten				Ausmitten und Ausbiegungen (Meßwerte)								Nebenversuche		
Vers. Nr.	Dauer- last N_{φ}	theor. Kurzzeit Bruchlast $N_{U,0}$	$\frac{N_{\varphi}}{N_{U,0}}$	Bela- stungs- dauer t_{φ}	infolge N_{φ}					Rück- federg. $\Delta c'_0$	nach ++) Entla- stung $c_0 + \Delta c_t^{\varphi}$ $N = 0$	Kriech- zahl +) φ_{∞}	Betongüte B_w $t=t_0+t_{\varphi}$	E-Modul E $t=t_0+t_{\varphi}$
					c_0	Δc_0	Δc_t $t=t_{\varphi}$	Δc_t^{**} $t=\infty$	c_t^{**} $t=\infty$					
-	Mp	Mp	-	Tage	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	-	kp/cm ²	kp/cm ²
I	6,30	12,3	0,51	418	8,55	1,06	1,14	1,28	10,89	1,10	9,65	1,8	334	$300 \cdot 10^3$
II	4,75	12,3	0,39	418	8,55	1,04	1,17	1,38	10,97	1,37	9,39	2,3	337	$300 \cdot 10^3$
III	14,0	34,1	0,41	598	3,42	0,80	1,47	1,56	5,78	1,23	4,46	1,9	365	$300 \cdot 10^3$
IV	15,6	28,9	0,54	594	3,42	1,37	2,42	3,01	7,80	2,15	5,06	1,9	300	$280 \cdot 10^3$
V	14,0	56,0	0,25	540	2,49	0,26	0,63	0,84	3,59	0,26	3,12	2,1	580	$480 \cdot 10^3$
VI	24,8	45,0	0,55	588	3,44	1,25	3,60	4,00	8,69	3,50	4,79	2,4	450	$350 \cdot 10^3$
VII	19,3	33,9	0,57	492	3,50	1,02	3,59	4,10	8,62	2,41	5,70	2,7	440	$345 \cdot 10^3$
VIII	30,7	53,2	0,58	492	3,44	1,83	4,32	4,78	10,05	5,10	4,49	2,2	430	$335 \cdot 10^3$
IX	14,6	51,3	0,29	480	2,49	0,23	0,75	0,82	3,54	0,28	3,19	2,4	460	$400 \cdot 10^3$
X	23,9	42,6	0,56	448	3,45	0,73	1,94	2,23	6,41	2,16	3,96	3,1	380	$330 \cdot 10^3$
XI	19,3	33,1	0,58	599	3,50	0,91	2,63	2,86	7,27	1,74	5,30	3,8	400	$330 \cdot 10^3$
XII	30,7	49,5	0,62	565	3,44	1,46	4,39	4,66	9,56	4,86	4,43	3,7	400	$320 \cdot 10^3$

+) Extrapolation nach Ross

$$++) = c_0 + \Delta c_0 + \Delta c_t - \Delta c'_0$$

$$t = t_{\varphi}$$

Tabelle 4 :

Entlastung und abschließender Bruchversuch

Serie	Bez. der Stütze	Gesamtausbiegung in L/2		Rückverformung sofortig, Kriechen			Lastausmitte in L/2			Beton güte β_w $t_o + t_\varphi$	Bruch- last im Ver- such N_U	theor. Bruch- Last $N_{U,\varphi}$	$\frac{N_{U,\varphi}}{N_U}$
		c_t $t=t_\varphi$ $N=N_\varphi$	c_t $t=\infty$ $N=N_\varphi$	$\Delta c'_o$ $N=0$	$\Delta c'_{o,\varphi}$ $N=0$	t'_φ	$c_t - \Delta c'_o$ $- \Delta c'_{o,\varphi}$ $N=0$	$c_t - \Delta c'_o$ $t=t_\varphi$ $N=0$	$\frac{c_o + \Delta c_t^\varphi}{d}$				
		cm	cm	cm	cm	Tage	cm	cm	-	kp/cm ²	Mp	Mp	-
1	I	10,75	10,89	1,10	-	-	9,65	9,65	0,56	334	10,5	10,7	1,02
	II	10,76	10,97	1,37	-	-	9,39	9,39	0,55	337	9,8	11,0	1,12
	III	5,69	5,78	1,23	-	-	4,46	4,46	0,26	365	26,0	27,3	1,05
	IV	7,21	7,80	2,15	-	-	5,06	5,06	0,30	300	20,5	20,5	1,00
2	V	3,38	3,59	0,26	-	-	3,12	3,12	0,18	580	53,0	53,0	1,00
	VI	8,29	8,69	3,50	-	-	4,79	4,79	0,28	450	35,0	39,4	1,12
	VII	8,11	8,62	2,41	-	-	5,70	5,70	0,33	440	23,2	22,4	0,97
	VIII	9,59	10,05	5,10	0,21	35	4,28	4,49	0,26	430	43,0	46,2	1,07
3	IX	3,47	3,54	0,28	0,13	154	3,06	3,19	0,19	460	53,5	43,0	0,80
	X	6,12	6,41	2,16	0,33	167	3,63	3,96	0,23	380	40,5	42,5	1,05
	XI	7,04	7,27	1,74	-	-	5,30	5,30	0,31	400	25,8	25,0	0,97
	XII	9,29	9,56	4,86	0,12	0,4	4,31	4,43	0,25	400	37,6	46,0	1,26

+) Rückkriechen

$$++) c_t - \Delta c'_o = c_o + \Delta c_t^\varphi$$

$$t=t_\varphi$$

1,04
1.M.

Biegedruckzone - zumindest im Mikrobereich - verbunden waren. Dies bedeutet aber, daß bei Wiederbelastung schon sehr geringe Lasten genügen, um die durch Rückkriechen eingetretene Rückverformung wieder aufzuheben, die somit keinen spürbaren Tragkraftzuwachs bedeutet.

Der Nachweis der in den Tabellen 3 und 4 enthaltenen Angaben über die sofortigen und mit der Zeit eintretenden Stützensausbiegungen sowie über die Festigkeitsentwicklung des Betons ist in den Tabellen und Diagrammen der Abschnitte 4, 5 und 6 geführt.

4. Hauptversuche

4.1 Auswertung der Hauptversuche für DIN 4224, Entwurf

Die in den Tabellen 3 und 4 enthaltenen Angaben lassen zunächst folgende Schlußfolgerungen zu :

- Die rechnerische Ermittlung der Kurzzeitbruchlasten mit Hilfe des erwähnten Computerprogramms gelingt mit befriedigender Genauigkeit.
- Die sofort eintretenden "elastischen" Ausbiegungen Δc_0 unter Belastung und die entsprechenden "Rückfederungswerte" $\Delta c'_0$ bei Entlastung unterscheiden sich teilweise erheblich. Diese Erscheinung dürfte vor allem dann eintreten, wenn bei Aufbringen der Dauerlast noch keine Risse auf der Biegezugseite auftreten, sondern ein Übergang nach Zustand II erst im Laufe der Dauerbelastung, verbunden mit zusätzlichen "elastischen" Ausbiegungen, erfolgt. Die graphischen Darstellungen der Vergrößerung der Stützensausbiegungen und der Randdehnungen im Mittelquerschnitt lassen teilweise unstetige Veränderungen erkennen, die mit Rißbeobachtungen zusammenfallen.
- Wenngleich die Belastungsdauer 1 1/2 bis fast 2 Jahre betrug, waren die kriechbedingten Ausbiegungsvergrößerungen noch nicht zur Ruhe gekommen; es gelang aber ohne Schwierigkeit, die Endwerte für eine Belastungsdauer von $t = \infty$ nach Ross zu ermitteln.

- Da das Belastungsalter der drei Versuchsgruppen stark unterschiedlich war, waren auch von Gruppe zu Gruppe unterschiedliche Kriechzahlen φ_{∞} zu erwarten; die beobachtete Tendenz entspricht den Erwartungen. Die Streuungen innerhalb der Gruppen sind jedoch trotz Bemühung um gleichbleibende Betoneigenschaften bemerkenswert; dagegen liegen die Festigkeits- und E-Modul-Werte der nach gleichen Rezepturen hergestellten Betonen vergleichsweise dicht beisammen.

Für die weitere Auswertung wird auf Teil II des vorliegenden Berichtes verwiesen. Dort werden auf Grund einer systematischen Untersuchung Wege zur rechnerischen Ermittlung der durch Kriechen hervorgerufenen, nach einer gedachten Entlastung verbleibenden Ausbiegung Δc_t^{φ} gezeigt. Diese Rechenwerte sollen nun für $t = t_{\varphi}$ ermittelt und mit den gemessenen Werten verglichen werden

Zunächst wird Gl. 18 zugrundegelegt; dann gilt :

$$\Delta c_t^{\varphi} = \alpha_f \cdot c_0 \cdot \left[e^{\frac{0,8 \cdot \varphi_t}{v' - 1}} - 1 \right]$$

$$c_t = \alpha_f \cdot c_0 \cdot \frac{v'}{v' - 1} \cdot e^{\frac{0,8 \cdot \varphi_{\infty}}{v' - 1}}$$

$$c_{t_0} = c_0 \cdot \frac{v' + \delta}{v' - 1}$$

Hierbei ist $\alpha_f = 4/\pi$ und $\delta = 0,273$

sowie

$$v' = \frac{\pi^2 (E \cdot I_b) w}{L^2 \cdot N_{\varphi}} = \frac{\pi^2 \alpha_s \cdot \mu \cdot E \cdot I_b}{L^2 \cdot N_{\varphi}} =$$

$$= \frac{\pi^2 [0,6 + 40 \mu_{\text{ges}}] \cdot \mu \cdot E \cdot I_b}{L^2 \cdot N_{\varphi}}$$

Die Ergebnisse dieser Vergleichsrechnungen sind auf den Tabellen 5a und 5b zusammengestellt. Der für die Berechnung von Δc_t^{φ} benötigte Wert φ_t wurde nach Überprüfung mit den vom CEB (Comité Européen du Béton) veröffentlichten Unterlagen für alle Versuche einheitlich zu $\varphi_t = 0,8 \cdot \varphi_{\infty}$ angenommen, weil die Unterschiede des Belastungsalters durch die lange Belastungsdauer ausgeglichen und weitere rechnerische Verfeinerungen angesichts der Streuung der φ_{∞} -Werte wenig sinnvoll erschienen.

Tabelle 5a: Vergleichsre. Längen nach Gl. 18

Bez. der Stütze	E +)	I _b	$\mu + \mu'$ = μ_{ges}	$40 \cdot \mu_{ges}$	γ	$\alpha_s =$ (EI) _w /EI	(EI) _w	N φ	φ'	φ_{∞}	$\frac{0,8 \varphi_{\infty}}{e \sqrt{1-\gamma}}$	c ₀	(c _t) _R t = ∞	c _t gemessen t = ∞	$\frac{(c_t)_R}{c_t}$ t = ∞	(c _{to}) _R t = t ₀	c ₀ + Δc ₀ gemessen	$\frac{(c_{to})_R}{c_0 + \Delta c_0}$ t = t ₀
	kp/cm ²	cm ⁴	-	-	-	-	Mp·m ²	Mp	-	-	-	cm	cm	cm	-	cm	cm	-
I	300	1,13	0,0102	0,41	0,75	0,75	254	6,30	15,2	1,8	1,10	8,55	12,8	10,89	1,17	9,30	9,61	0,97
II	260	1,13	0,0101	0,41	0,75	0,75	220	4,75	17,5	2,3	1,12	8,55	12,9	10,97	1,18	9,20	9,59	0,96
III	280	1,14	0,0101	0,41	0,75	0,75	240	14,0	6,4	1,9	1,32	3,42	6,8	5,78	1,17	4,25	4,22	1,01
IV	230	1,10	0,0103	0,41	0,75	0,75	190	15,6	4,6	1,9	1,52	3,42	8,5	7,80	1,09	4,65	4,79	0,97
V	360	1,14	0,0099	0,40	0,75	0,75	307	14,0	8,2	2,1	1,26	2,49	4,52	3,59	1,25	2,95	2,75	1,07
VI	325	1,18	0,0217	0,87	0,65	0,96	368	24,8	5,6	2,4	1,53	3,44	8,20	8,69	0,94	4,42	4,69	0,94
VII	320	1,19	0,0099	0,40	0,70	0,70	267	19,3	5,2	2,7	1,67	3,50	9,22	8,62	1,07	4,58	4,52	1,01
VIII	320	1,16	0,0316	1,26	0,63	1,17	435	30,7	5,3	2,2	1,51	3,44	8,15	10,05	0,81	4,47	5,27	0,85
IX	350	1,15	0,0101	0,41	0,71	0,71	286	14,6	7,3	2,4	1,35	2,49	4,95	3,54	1,40	3,00	2,72	1,10
X	319	1,15	0,0222	0,89	0,66	0,98	361	23,9	5,7	3,1	1,70	3,45	9,00	6,41	1,40	4,40	4,18	1,05
XI	305	1,18	0,0101	0,40	0,73	0,73	263	19,3	5,1	3,8	2,096	3,50	11,60	7,27	1,59	4,62	4,41	1,05
XII	307	1,16	0,0318	1,27	0,63	1,18	420	30,7	5,1	3,7	2,054	3,44	11,10	9,56	1,15	4,53	4,90	0,92
	·10 ³	·10 ⁴																

+ E = E_{vorrh} bei t = t₀

$$= [0,6 + 40 \cdot \mu_{ges}] \cdot \varphi$$

$$= \frac{\pi^2 (E \cdot I_s) N}{L^2 \cdot N \varphi}$$

$$= \frac{4}{\pi} \cdot c_0 \cdot \frac{\varphi'}{\sqrt{1-\gamma}} \cdot e^{\frac{9,89 \varphi}{\sqrt{1-\gamma}}}$$

$$= c_0 \cdot \frac{\varphi' + \varphi}{\sqrt{1-\gamma}}$$

Tabelle 5b: Fortsetzung

Vergleichsrechnungen nach Gl. 18

Bez. der Stütze	γ'	$\varphi_t \approx$ $0,8 \cdot \varphi_0$	$\frac{0,8 \cdot \varphi_t}{e^{\gamma' - 1} - 1}$ $t = t_\varphi$	c_0	$(\Delta c_t^\varphi)_R$ $t = t_\varphi$	$(c_0 + \Delta c_t^\varphi)_R$ $t = t_\varphi$	$c_0 + \Delta c_t^\varphi$ gemessen	$\frac{(c_0 + \Delta c_t^\varphi)_R}{c_0 + \Delta c_t^\varphi}$ $t = t_\varphi$	σ_{W} $t = t_0 + t_\varphi$	theor. Bruch- last $N_{U,R}$ $t = t_\varphi$	Bruch- last im Vers. N_U	$\frac{N_{U,R}}{N_U}$
	-	-	-	cm	cm	cm	cm	-	kp/cm ²	Mp	Mp	-
I	15,2	1,44	0,085	8,55	0,93	9,48	9,65	0,98	334	10,9	10,5	1,04
II	17,5	1,84	0,094	8,55	1,03	9,58	9,39	1,02	337	10,7	9,8	1,09
III	6,4	1,52	0,25	3,42	1,09	4,51	4,46	1,01	365	27,0	26,0	1,03
IV	4,6	1,52	0,40	3,42	1,75	5,17	5,06	1,02	300	20,0	20,5	0,98
V	8,2	1,68	0,21	2,49	0,67	3,16	3,12	1,01	580	52,6	53,0	0,99
VI	5,6	1,92	0,40	3,44	1,75	5,19	4,79	1,08	450	37,5	35,0	1,07
VII	5,2	2,16	0,51	3,50	2,28	5,78	5,70	1,01	440	22,0	23,2	0,95
VIII	5,3	1,75	0,39	3,44	1,70	5,14	4,49	1,14	430	43,0	43,0	1,00
IX	7,3	1,92	0,28	2,49	0,89	3,38	3,19	1,06	460	39,0	53,5	0,73
X	5,7	2,48	0,53	3,45	2,33	5,78	3,96	1,46	380	34,5	40,5	0,85
XI	5,1	3,05	0,82	3,50	3,67	7,17	5,30	1,35	400	17,5	25,8	0,68
XII	5,1	2,96	0,78	3,44	3,43	6,87	4,43	1,55	400	37,6	37,6	1,00
								1,14 i.M.			0,95 i.M.	

+) ermittelt für $t = t_\varphi$

" 1/5 · c₀ [e^{γ'-1} - 1]

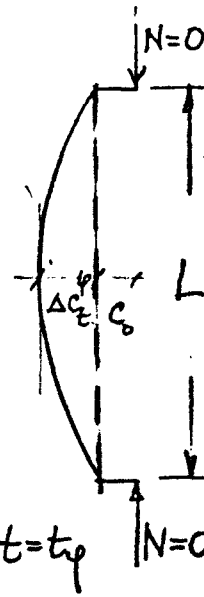
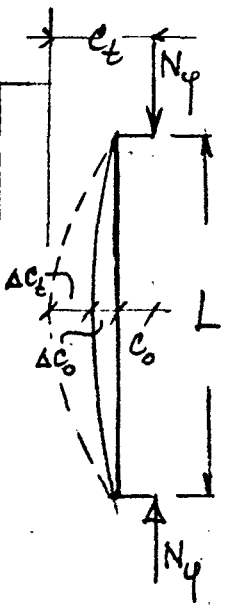


Tabelle 5 a zeigt:

Die Rechenwerte für $c_{t\infty}$ stimmen mit den aus den Versuchen abgeleiteten Werten gut überein, wenngleich die Rechenwerte insgesamt etwas höher, also vorsichtiger, sind. Die größten Abweichungen sind in der dritten Versuchsreihe mit dem geringsten Belastungsalter zu beobachten. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß hier der Schwindeinfluß auf die Stützenverformung deutlicher wird; es könnte aber auch daran liegen, daß die in Nebenversuchen an unbewehrten Körpern ermittelten Kriechverformungen bei hohen Kriechzahlen für die Stützenverformungen nicht hinreichend repräsentabel sind, weil die "bremsende" Wirkung der Bewehrung unterschätzt wird. Zu beachten ist auch, daß die Streuungen der Werte φ_{∞} in dieser dritten Versuchsreihe trotz weitgehend unveränderter Betonrezepturen vergleichsweise am größten waren.

Der Vergleich der rechnerischen mit den gemessenen Ausbiegungen unmittelbar nach Aufbringen der Last - $c_0 + \Delta c_0$ - zeigt eine überraschend gute Übereinstimmung. Es gelingt offensichtlich, an Hand der von Dischinger entwickelten Ansätze unter Verwendung eines auf die effektive Steifigkeit reduzierten Wertes der Knicksicherheit ν' das sogenannte "elastische" Verformungsverhalten zutreffend zu beschreiben.

Auf Tabelle 5 b ist der wichtigste Teil dieser Vergleichsrechnungen wiedergegeben, weil die dort ermittelten Werte Δc_t^y die Grundlage für eine praxisgerechte Ermittlung des Kriecheinflusses auf die Traglast schlanker Stahlbetonstützen bilden. Der Wert Δc_t^y entspricht einer durch Kriechen unter Dauerlast hervorgerufenen bleibenden Ausbiegung im entlasteten Zustand; in DIN 4224 wird diese Größe e_k genannt.

Der Vergleich der rechnerischen mit den im Versuch gewonnenen Werte $c_0 + \Delta c_t^y$ zeigt gute Übereinstimmung, wobei die Rechenwerte deutlich zur "vorsichtigen" Seite tendieren. Auch hier bringen die Rechenwerte der dritten Versuchsreihe die relativ größten Überschreitungen gegenüber den Versuchswerten.

Anhand der rechnerischen Werte $c_0 + \Delta c_t^y$ wurden nun mit dem schon mehrfach erwähnten Computerprogramm theoretische Bruchlasten $N_{U,R}$ ermittelt und mit den Ergebnissen der abschließenden Kurzzeit-Bruchversuche verglichen. Die Übereinstimmung der Traglasten zwischen Rechnung und Versuch ist ähnlich gut wie in Tabelle 4, wo die Traglasten $N_{U,\varphi}$ mit den im Versuch gewonnenen Werten $c_0 + \Delta c_t^y$ errechnet wurden - wenngleich die Rechenwerte $N_{U,R}$ gegenüber den Versuchswerten im Mittel niedriger liegen, entsprechend den bewußt zur vorsichtigen Seite hin entwickelten Rechenwerten Δc_t^y .

In Teil II wurde Gl. 18 mit dem Ziel abgeleitet, eine möglichst gute Wiedergabe der Versuchswerte unter Berücksichtigung des Randabstandes der Bewehrung zu erreichen. Für die Anwendung in der Praxis schien dies aber noch zu umständlich, weswegen eine weitere Vereinfachung mit dem Ansatz für die wirksame Steifigkeit nach Gl. 17 a

$$(EI)_w = (0,6 + 20 \cdot \mu_{\text{ges}}) \cdot E \cdot I_B$$

und $\alpha_f = 1,0$ entwickelt wurde. Diese Ansätze wurden auch in

DIN 4224, Entwurf, aufgenommen. Hiermit ergibt sich ähnlich wie unter Verwendung von Gl. 18:

$$\Delta C_t^y = e_k = c_0 \cdot \left[e^{\frac{0,8 \cdot \varphi_t}{v'-1}} - 1 \right]$$

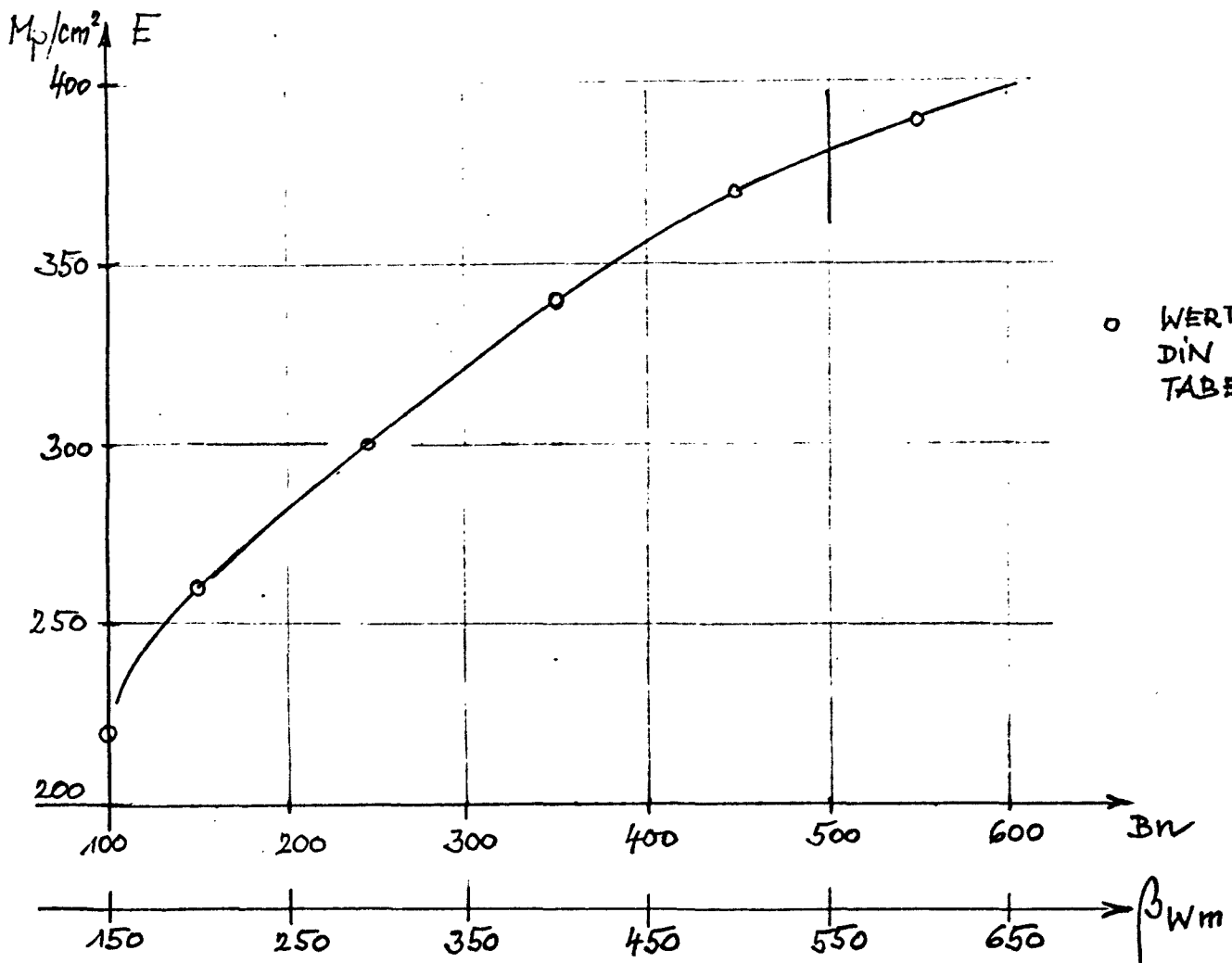
$$c_{t\infty} = c_0 \cdot \frac{v'}{v'-1} \cdot e^{\frac{0,8 \cdot \varphi_t}{v'-1}}$$

$$c_{t0} = c_0 + \Delta c_0 = c_0 \cdot \frac{v' + \delta}{v'-1}$$

$$\delta = 0,273$$

$$v' = \frac{\pi^2 \cdot [0,6 + 20 \cdot \mu_{ps}] \cdot E \cdot I_z}{L^2 \cdot N_y}$$

Die Ergebnisse dieser Vergleichsrechnungen sind auf den Tabellen 6a und 6b zusammengestellt; auch hier wurde der Wert $\varphi_t = 0,8 \cdot \varphi_\infty$ gesetzt. Als Elastizitätsmoduli des Betons wurden nicht die in den Nebenversuchen bestimmten Werte eingeführt, sondern die Werte der Neufassung von DIN 1045 zugrundegelegt, wobei für die vorhandene Betongüte interpoliert wurde. Die zu den Versuchsstützen im Belastungsalter ermittelten Würfelfestigkeiten β_w wurden als "mittlere Festigkeiten" β_{wm} angesehen und gegenüber den Werten β_n um jeweils 50 kp/cm² höher liegend angesehen. Das folgende Diagramm zeigt die Zusammenhänge:



Bez. der Stütze	β_{wm} $t=t_0$	$E_b^{+)}$ $t=t_0$	I_b	$\mu+\mu'$ $=\mu_{ges}$	$20 \cdot \mu_{ges}$	$(EI)_w$	μ'	φ_w	$\frac{0,8\varphi_w}{v-1}$	c_0	Rechn. $(c_t)_R$ $t=\infty$	Vers. c_t $t=\infty$	$\frac{(c_t)_R}{c_t}$ $t=\infty$	Rechn. c_0+e_{el} $t=0$	Versuch $c_0+\Delta c_0$	$\frac{c_0+e_{el}}{c_0+\Delta c_0}$
	kp/cm ²	kp/cm ²	cm ⁴	-	-	Mpm ²	-	-	-	cm	cm	cm	-	cm	cm	-
I	334	320	1,13	0,0102	0,20	290	17,3	1,8	1,09	8,55	9,90	10,89	0,91	9,25	9,61	0,96
II	337	320	1,13	0,0101	0,20	290	22,9	2,3	1,09	8,55	9,75	10,97	0,89	9,05	9,59	0,94
III	362	330	1,14	0,0101	0,20	300	8,0	1,9	1,25	3,42	4,88	5,78	0,85	4,05	4,22	0,96
IV	296	300	1,10	0,0103	0,20	264	6,4	1,9	1,32	3,42	5,35	7,80	0,69	4,23	4,79	0,88
V	530	380	1,14	0,0099	0,20	346	9,3	2,1	1,22	2,49	3,40	3,59	0,95	2,88	2,75	1,05
VI	390	340	1,18	0,0217	0,43	413	4,3	2,4	1,43	3,44	5,84	8,69	0,67	4,28	4,69	0,91
VII	361	330	1,19	0,0099	0,20	314	6,1	2,7	1,52	3,50	6,37	8,62	0,74	4,40	4,52	0,98
VIII	370	330	1,16	0,0316	0,63	470	5,6	2,2	1,45	3,44	6,05	10,05	0,60	4,38	5,27	0,83
IX	434	350	1,15	0,0101	0,20	322	8,3	2,4	1,30	2,49	3,68	3,54	1,04	2,94	2,72	1,08
X	328	320	1,15	0,0222	0,44	383	6,0	3,1	1,64	3,45	6,80	6,41	1,06	4,35	4,18	1,04
XI	322	320	1,18	0,0101	0,20	302	5,9	3,8	1,86	3,50	7,75	7,27	1,07	4,36	4,41	0,99
XII	327	320	1,16	0,0318	0,63	467	5,7	3,7	1,88	3,44	7,85	9,56	0,82	4,38	4,90	0,90
		$\cdot 10^3$	$\cdot 10^4$				"				"		0,86 1.M.	"		0,96 1.M.

+) E_b nach DIN 1045 interpoliert

$$\frac{\pi^2 (EI)_w}{L^2 \cdot N_p}$$

$$c_0 \cdot \frac{v}{v-1} \cdot e^{\frac{0,8\varphi_w}{v-1}}$$

$$c_0 \cdot \frac{v'+\delta}{v'-1}$$

Bez. der Stütze	μ'	$\varphi_t \approx 0,8 \cdot \varphi_{\infty}$	$\frac{0,8 \cdot \varphi_t}{e^{\frac{1}{V-1}-1}}$ $t = t_{\varphi}$	c_o	e_k $t = t_{\varphi}$	$c_o + e_k$ $t = t_{\varphi}$	$c_o + \Delta c_t^{\varphi}$ gemessen	$\frac{c_o + e_k}{c_o + \Delta c_t^{\varphi}}$ $t = t_{\varphi}$	β_w $t = t_o + t_{\varphi}$	$N_{U,k}$ †)	im Versuch N_U	$\frac{N_{U,k}}{N_U}$
	-	-	-	cm	cm	cm	cm	-	kp/cm ²	Mp	Mp	-
I	17,3	1,44	0,074	8,55	0,63	9,18	9,65	0,95	334	11,4	10,5	1,08
II	22,9	1,84	0,070	8,55	0,60	9,15	9,39	0,98	337	11,4	9,8	1,16
III	8,0	1,52	0,19	3,42	0,65	4,07	4,46	0,91	365	29,5	26,0	1,13
IV	6,4	1,52	0,25	3,42	0,86	4,28	5,06	0,85	300	23,5	20,5	1,15
V	9,3	1,68	0,18	2,49	0,45	2,94	3,12	0,94	580	56,3	53,0	1,06
VI	4,3	1,92	0,60	3,44	2,06	5,50	4,79	1,15	450	36,0	35,0	1,03
VII	6,1	2,16	0,41	3,50	1,44	4,94	5,70	0,87	440	26,0	23,2	1,12
VIII	5,6	1,75	0,36	3,44	1,24	4,68	4,49	1,04	430	45,2	43,0	1,05
IX	8,3	1,92	0,24	2,49	0,60	3,09	3,19	0,97	460	43,5	53,5	0,82
X	6,0	2,48	0,49	3,45	1,69	5,14	3,96	1,30	380	37,2	40,5	0,92
XI	5,9	3,05	0,65	3,50	2,27	5,77	5,30	1,09	400	22,5	25,8	0,87
XII	5,7	2,96	0,66	3,44	2,27	5,71	4,43	1,29	400	42,2	37,6	1,12
†) theor. Bruchlast, ermittelt für $t = t_{\varphi}$								1,03 i.M.				1,04 i.M.

$$= c_o \cdot \left[e^{\frac{1}{V-1}-1} - 1 \right]$$

Der Vergleich der Rechenwerte $c_{t\infty}$ mit den Versuchswerten zeigt annähernd gleich gute Ergebnisse wie für Gl. 18 gezeigt, aber im Mittel gering zur unvorsichtigen Seite tendierend. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die E-Modulwerte nach DIN 1045 im allgemeinen etwas höher liegen als bei Laborbetonen, - was auch hier zu beobachten ist. Hierdurch ergeben sich kleinere Rechenwerte $c_{t\infty}$. Die Werte der dritten Versuchsreihe zeigen erneut die relativ größten Streuungen.

Die Übereinstimmung der rechnerischen mit den gemessenen Ausbiegungen $c_0 + \Delta c_0$ unmittelbar nach Aufbringen der Last ist sehr befriedigend.

Wie Tabelle 6b zeigt, fällt der Vergleich der rechnerischen Werte $c_0 + e_k$ mit den gemessenen Werten $c_0 + \Delta c_t^y$ sehr befriedigend aus. Obwohl die vereinfachten Ansätze nach Gl. 17 ~~a~~ den Einfluß des Randabstandes der Bewehrung vernachlässigen - es wird ein "üblicher" Randabstand von $h'/d \sim 0,10$ entsprechend $\gamma = 0,8$ unterstellt - zeigt dieser Vergleich eine kaum signifikante Tendenz zu unvorsichtigen Rechenwerten.

Ähnlich wie zum Ansatz nach Gl. 18 wurden theoretische Bruchlasten $N_{U,k}$ aufgrund der rechnerischen Werte $c_0 + e_k$ ermittelt und mit den Versuchs-Bruchlasten verglichen; die Übereinstimmung ist auch hier sehr befriedigend, mit einer kaum signifikanten Tendenz zu einer rechnerischen Überschätzung der Traglasten.

Als wichtigstes Ergebnis kann somit festgestellt werden, daß der in DIN 4224 Entwurf aufgenommene Näherungsansatz für die Berücksichtigung des Kriechens bei der Ermittlung der Trag-

last schlanker Stahlbetonstützen durch die vorliegenden Versuchsergebnisse bestätigt wird; für die Regelfälle der Bemessung besteht keine Notwendigkeit, die genauere aber unbequemere Rechnung nach Gl. 18 anzuwenden. Die schon zu anderen Gelegenheiten erprobten Ansätze für eine pauschalierte "wirksame Biegesteifigkeit" erwiesen sich auch hier als brauchbar. Mit Hilfe dieser Werte konnten die Lösungen der Elastizitätstheorie nicht nur zur Beschreibung der Langzeitverformungen, sondern auch der Augenblicksverformungen nach Theorie II. Ordnung von Stahlbetonstützen angewendet werden.

4.2 Darstellung der wichtigsten Meßwerte zu den Hauptversuchen

Nachfolgend werden die wichtigsten, für die Deutung der Hauptversuche maßgebenden, Meßwerte in Diagrammen dargestellt. Es sind dies:

- Ermittlung der Stützensausbiegung y_{∞} in $L/2$ nach einer Belastungsdauer von $t = \infty$ nach Ross (Bilder 4.1 - 4.12)
- graphische Darstellung der Stützensausbiegungen und der Querschnitts-Randdehnungen über die Belastungsdauer (Bilder 4.13 - 4.32)

Die Stützensausbiegungen wurden mit 1/100-Meßuhren verfolgt. Die Randdehnungen wurden mit Setzdehnungsmessern und Dehnungsmeßstreifen gemessen. Die Lage der Meßpunkte geht aus den Bildern 4.13 - 4.32 hervor. Die Höhe der Dauerlasten wurde an Hand der Manometerdrücke und durch Dehnungsmessungen an den Zugstangen der Belastungsgerüste kontrolliert.

Bild 4.1
Stütze I

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$ nach Ross

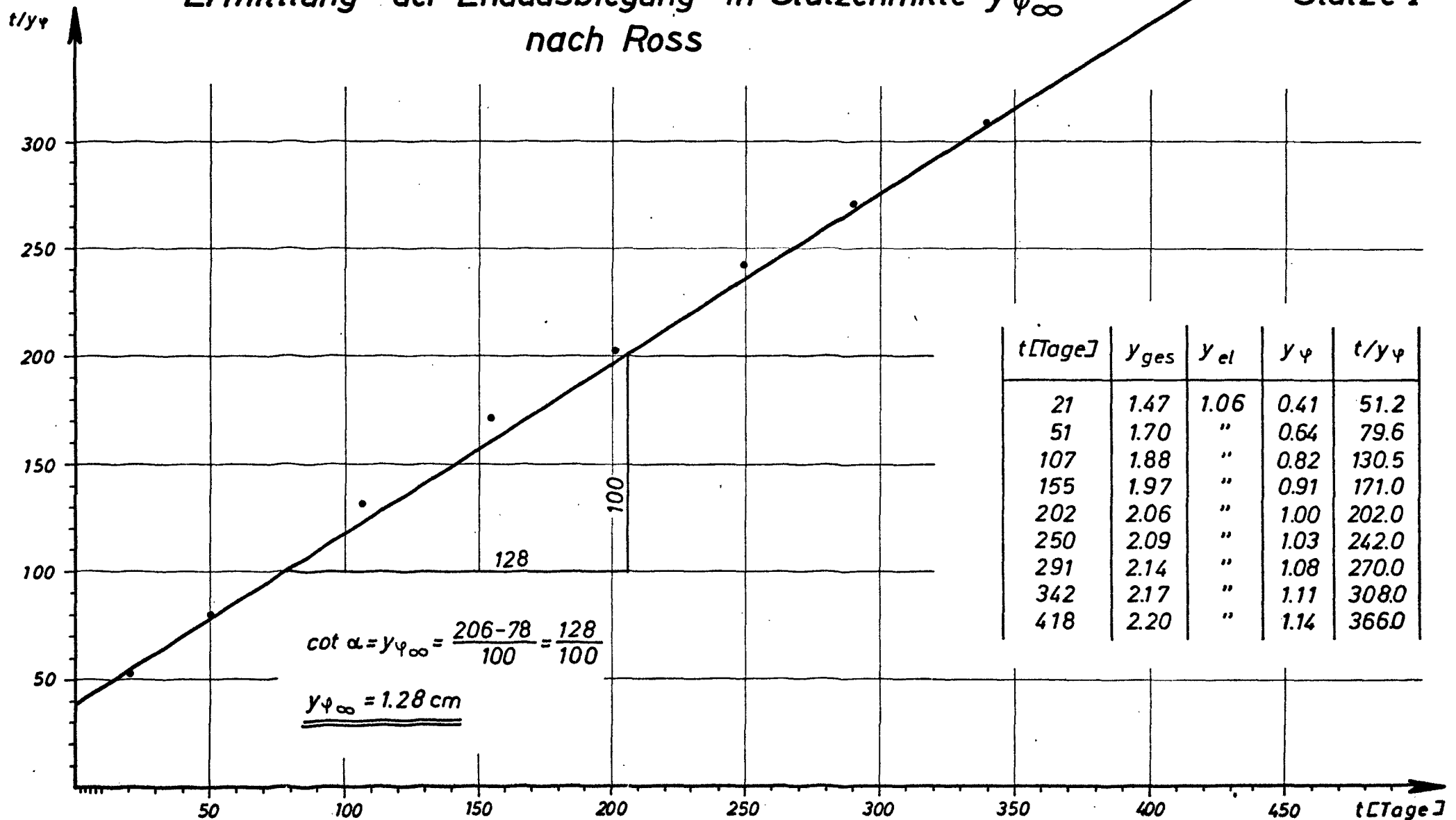


Bild 4.2

Stütze II

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi\infty}$ nach Ross

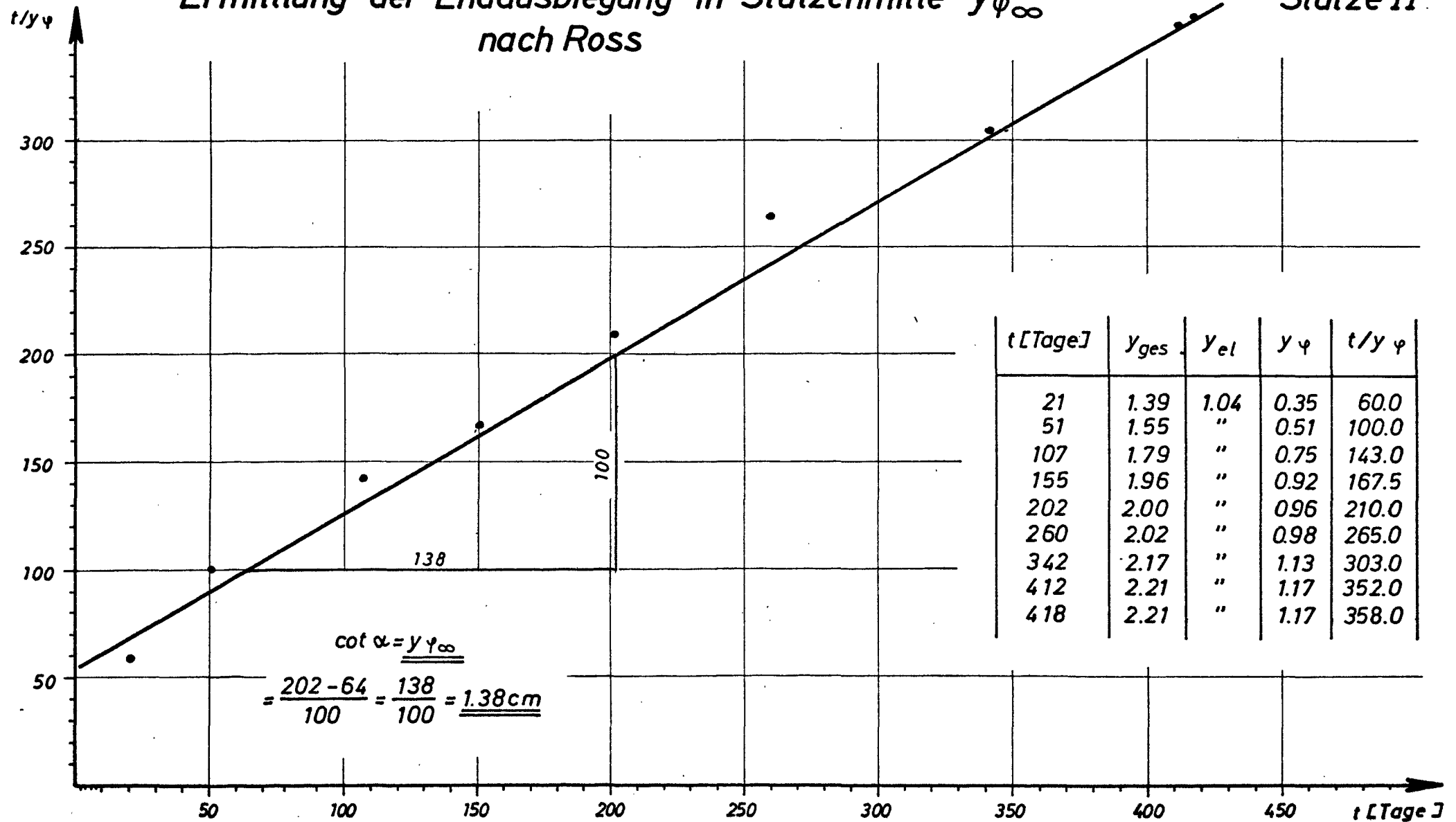


Bild 4.3

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$ nach Ross

Stütze III

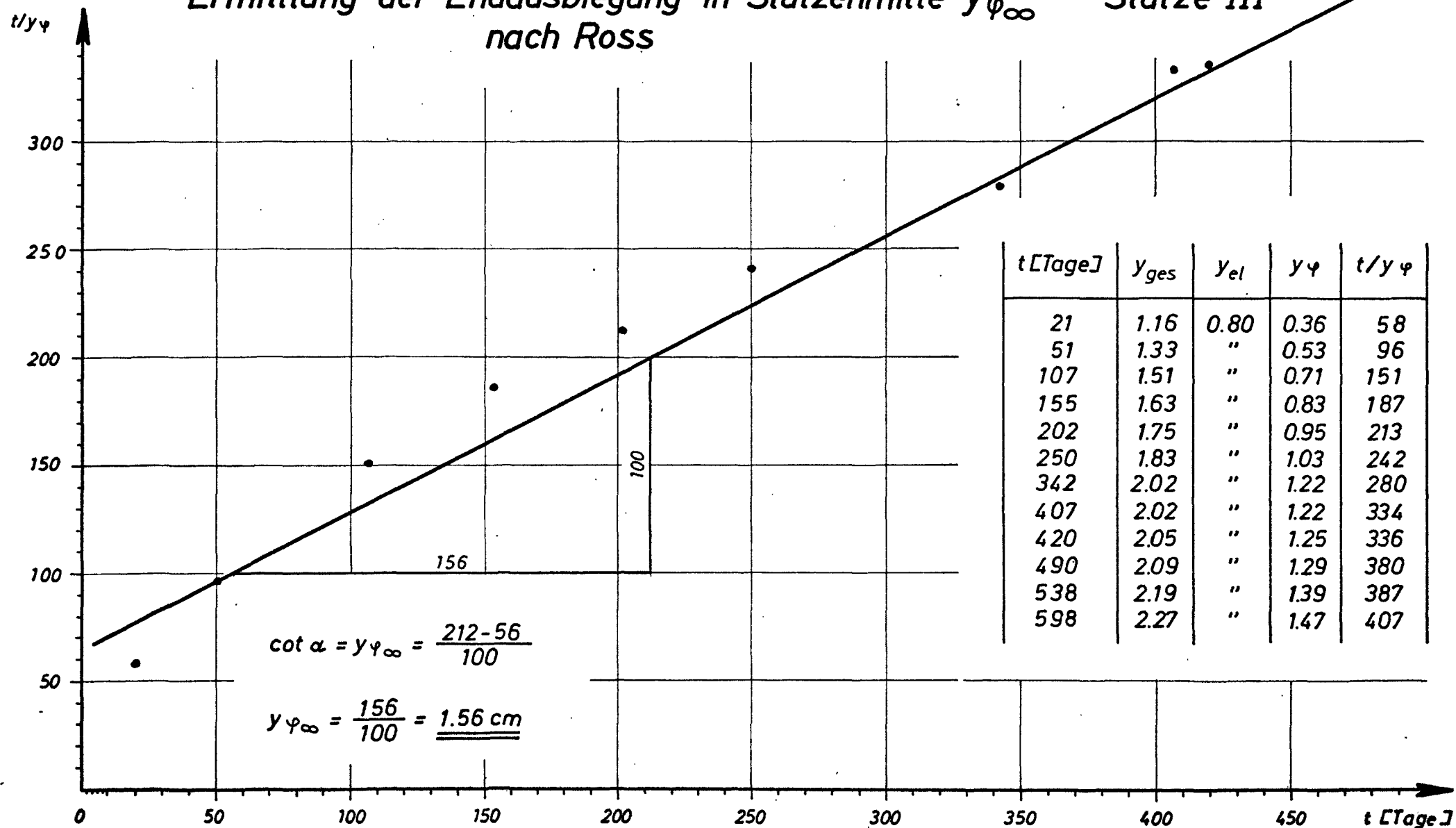


Bild 4.4
Stütze IV

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$ nach Ross

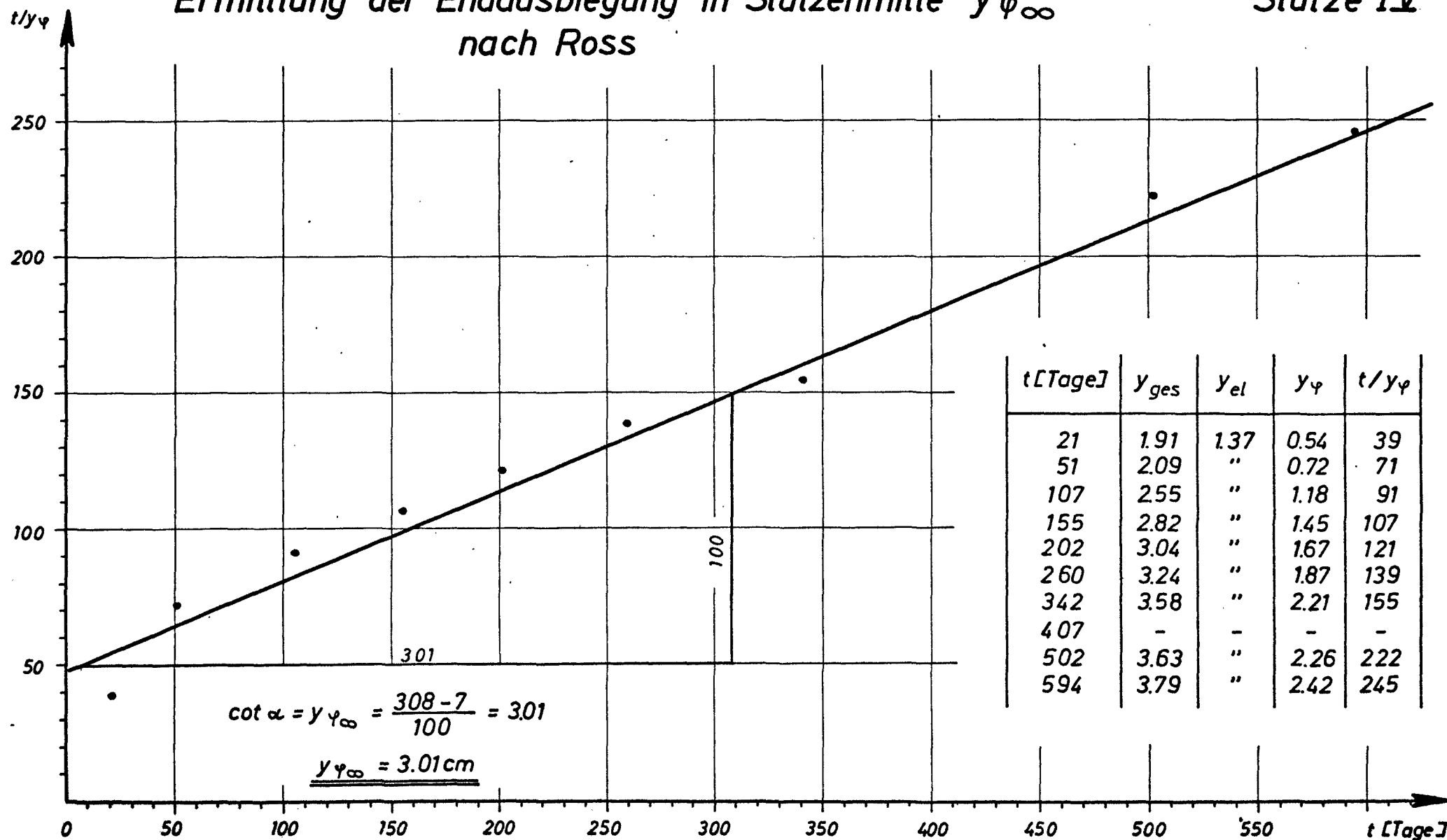


Bild 4.5

als richtig
angenommen

Stütze V

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$ nach Ross

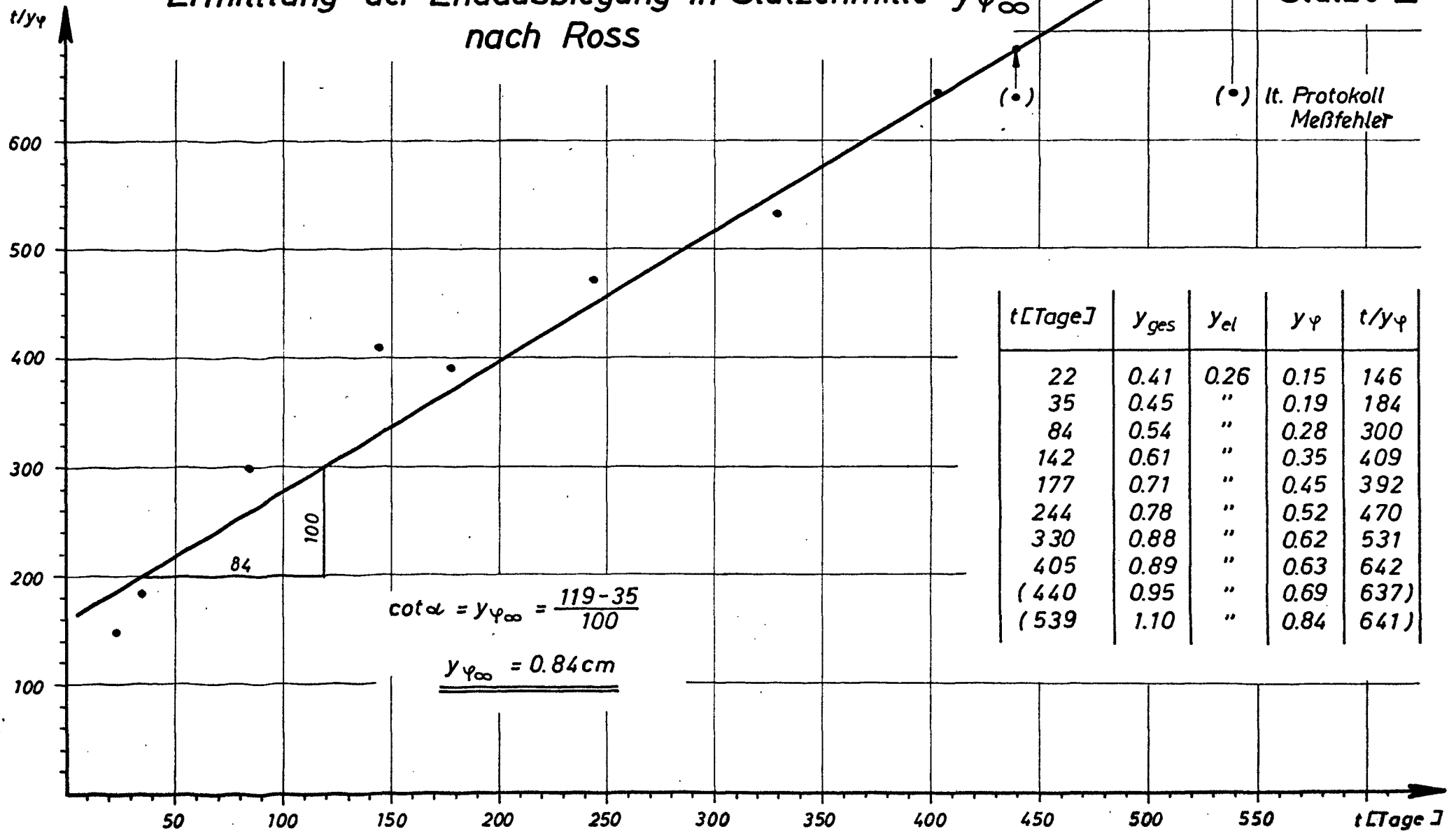


Bild 4.6
Stütze VI

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi\infty}$
nach Ross

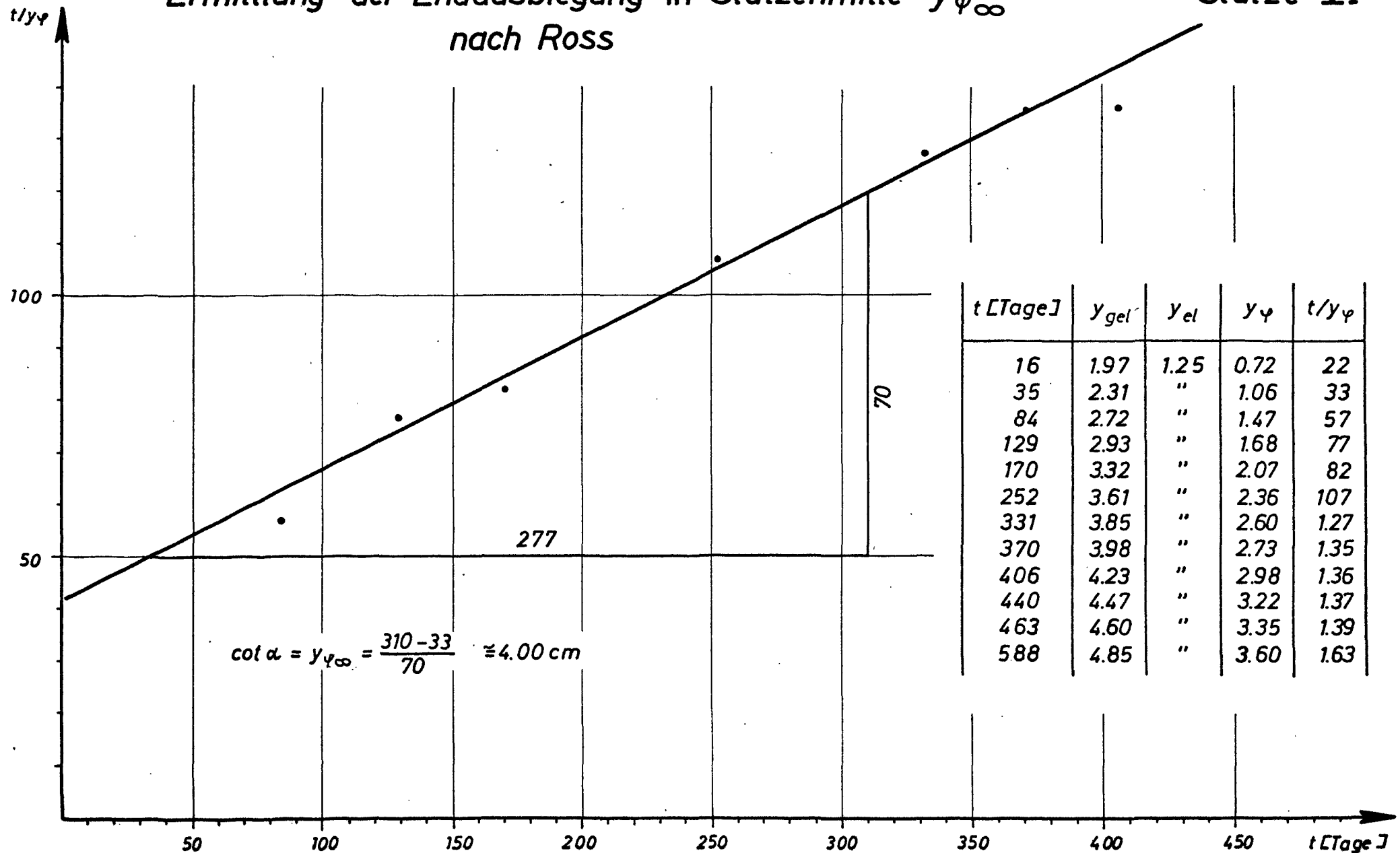


Bild 4.7
Stütze VII

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi\infty}$ nach Ross

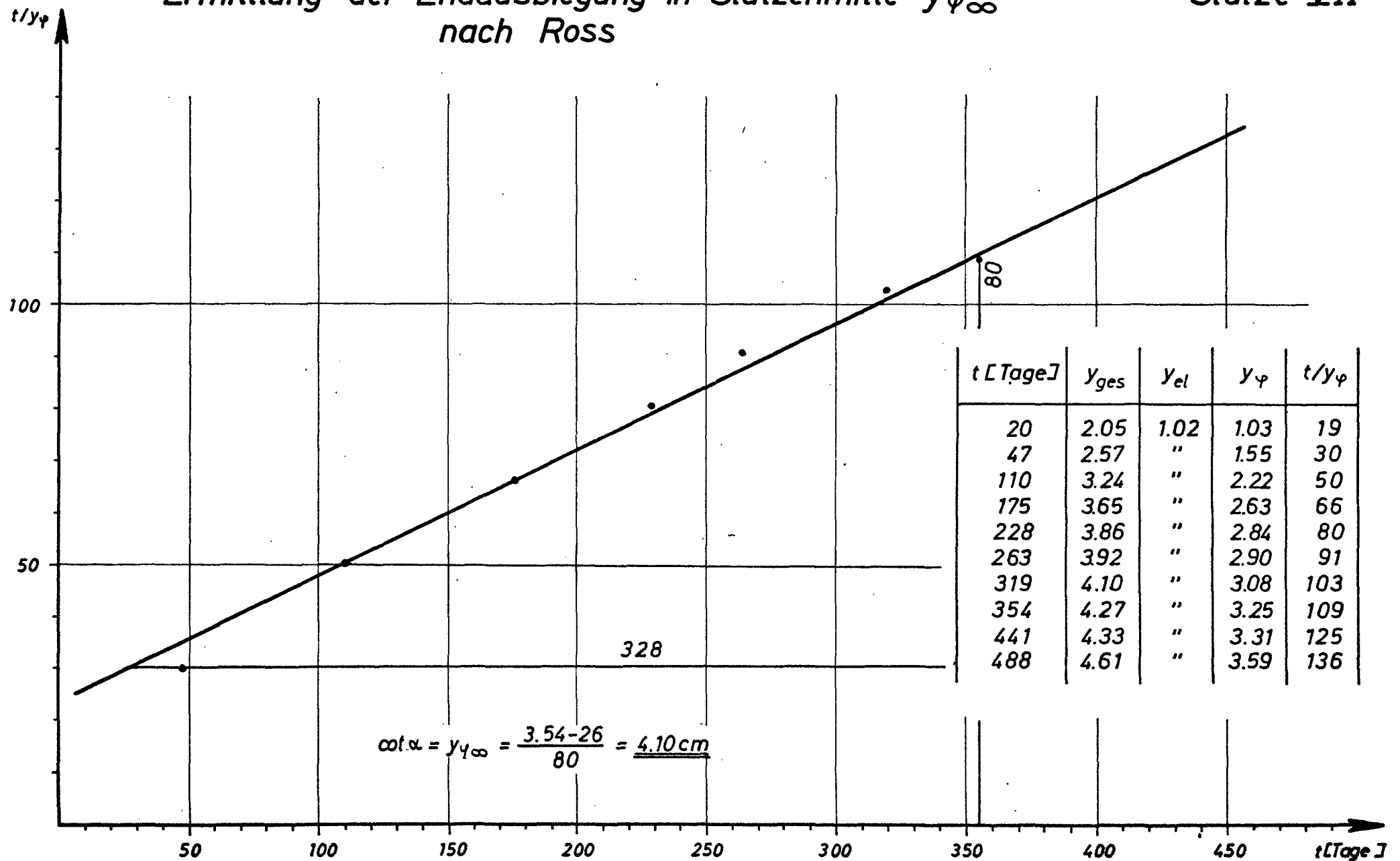


Bild 4.8

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi\infty}$ nach Ross

Stütze VIII

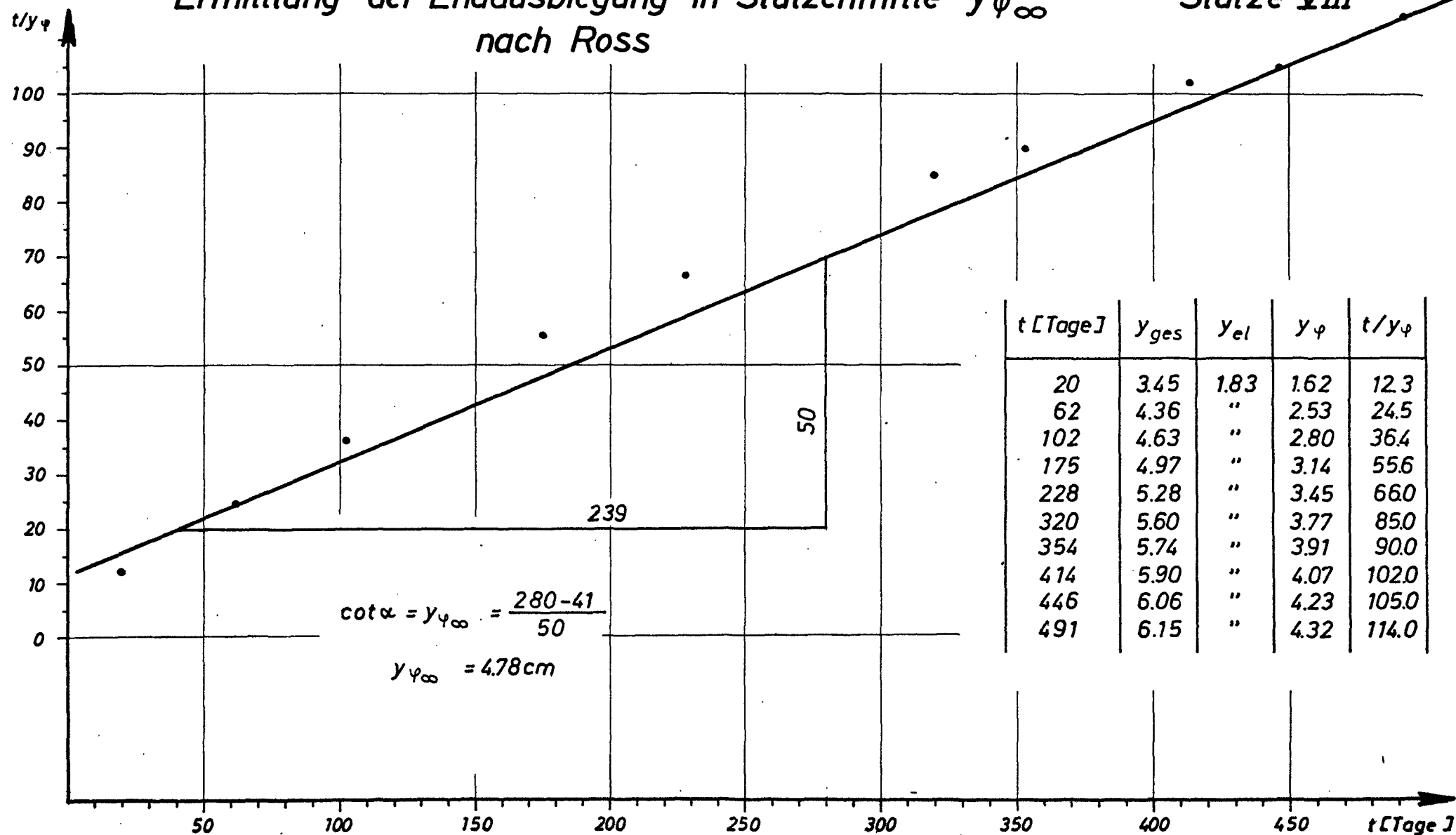


Bild 4.9
Stütze IX

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$ nach Ross

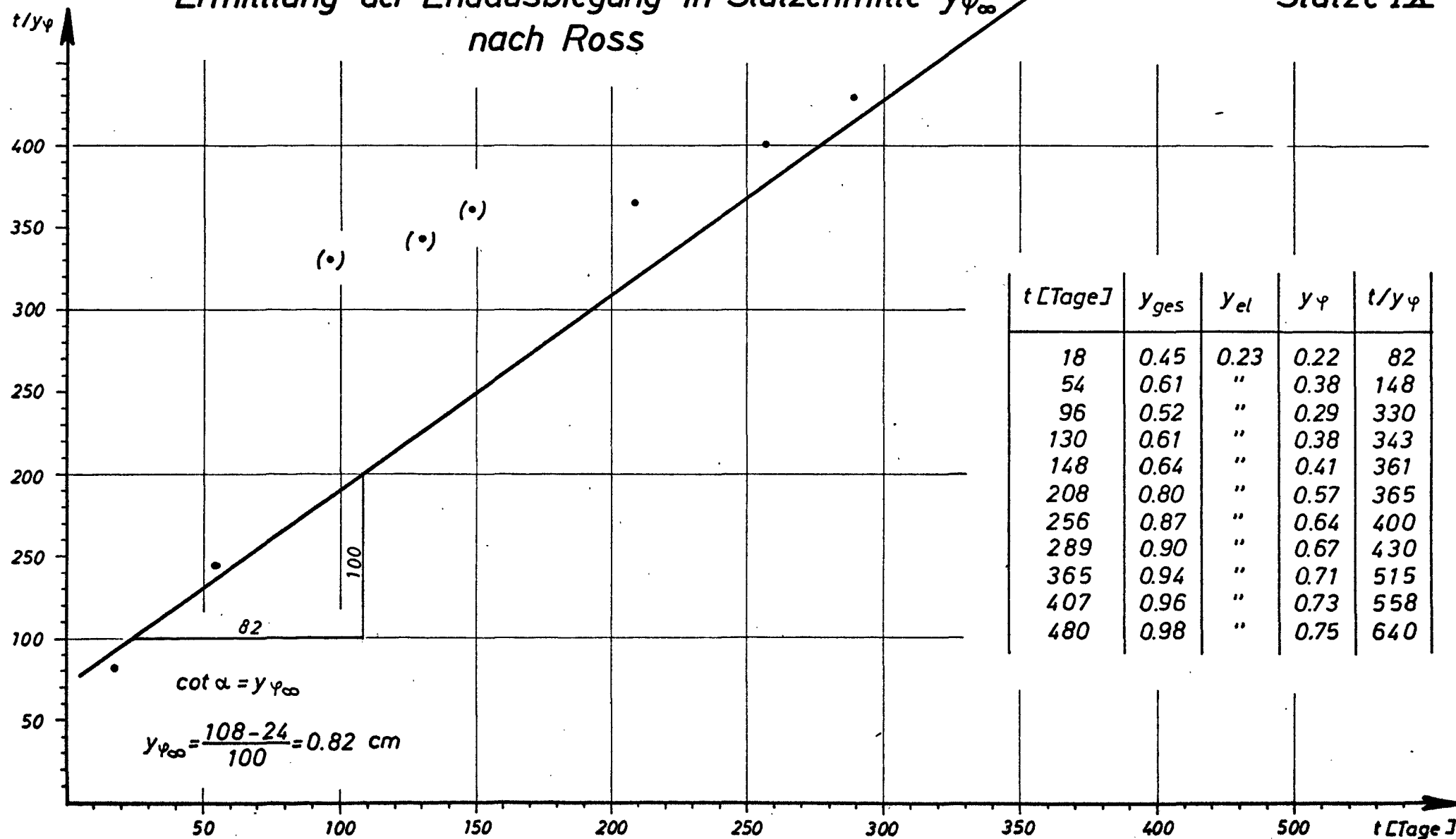


Bild 4.10

Stütze X

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$
nach Ross

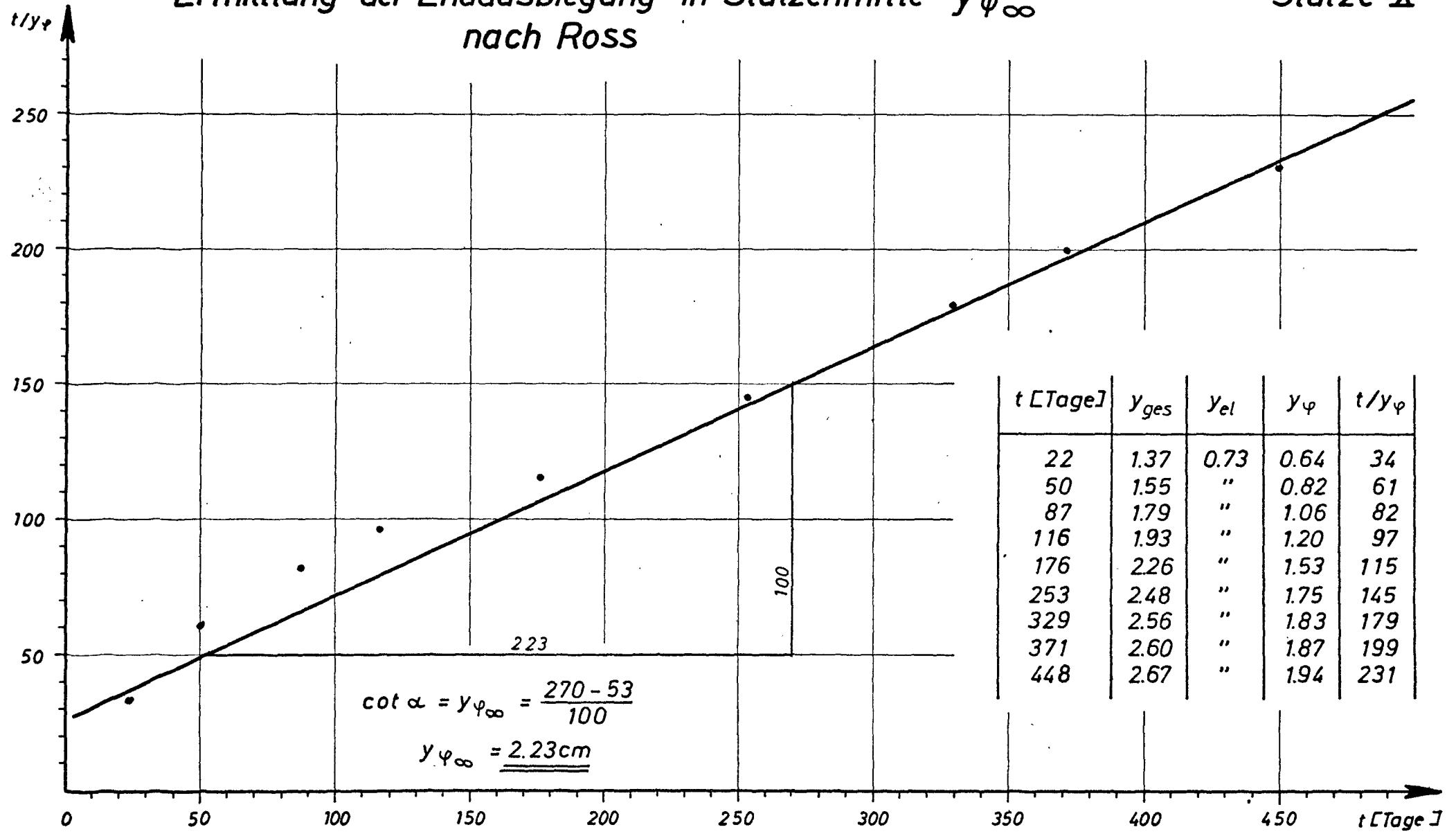
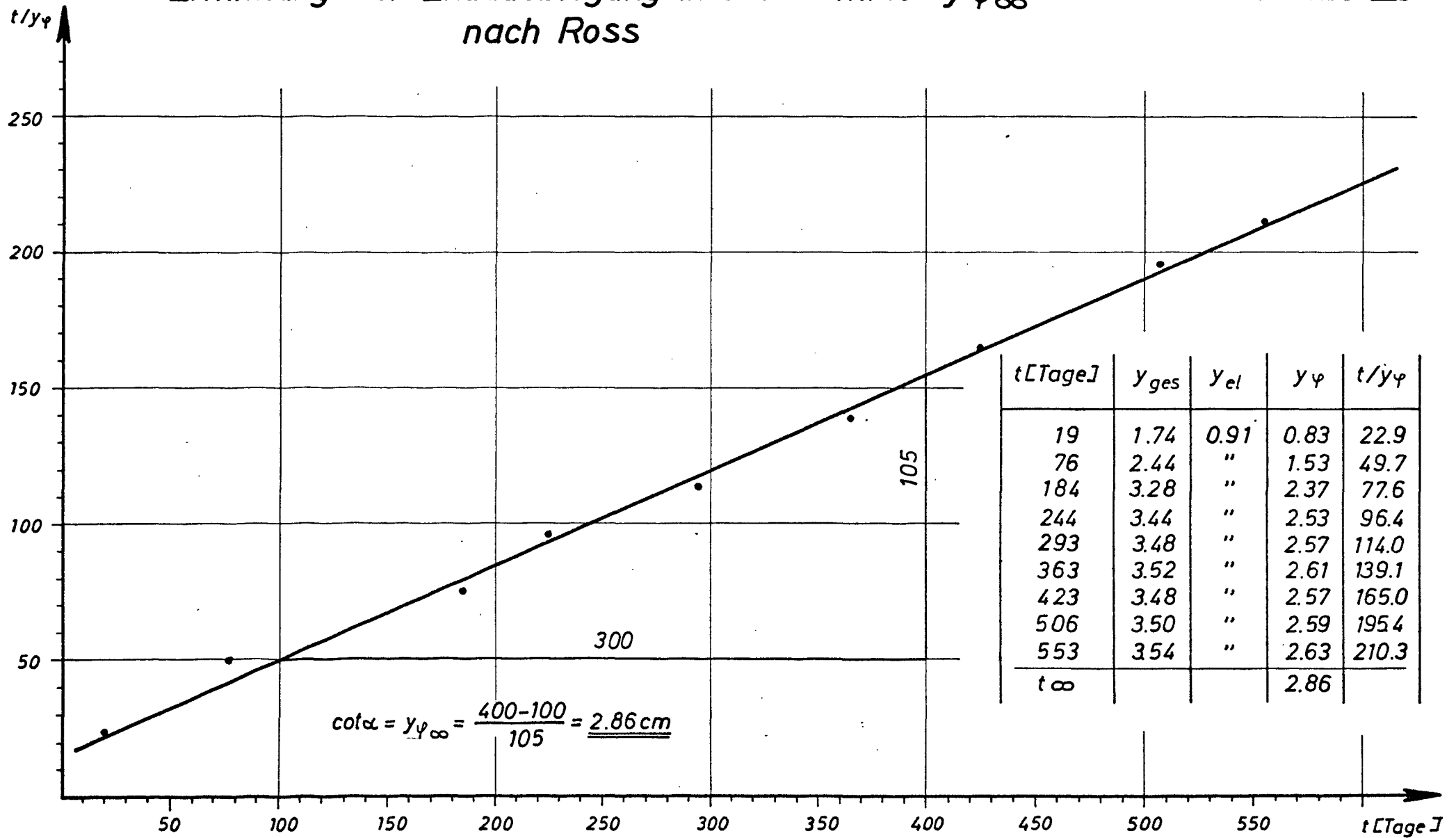


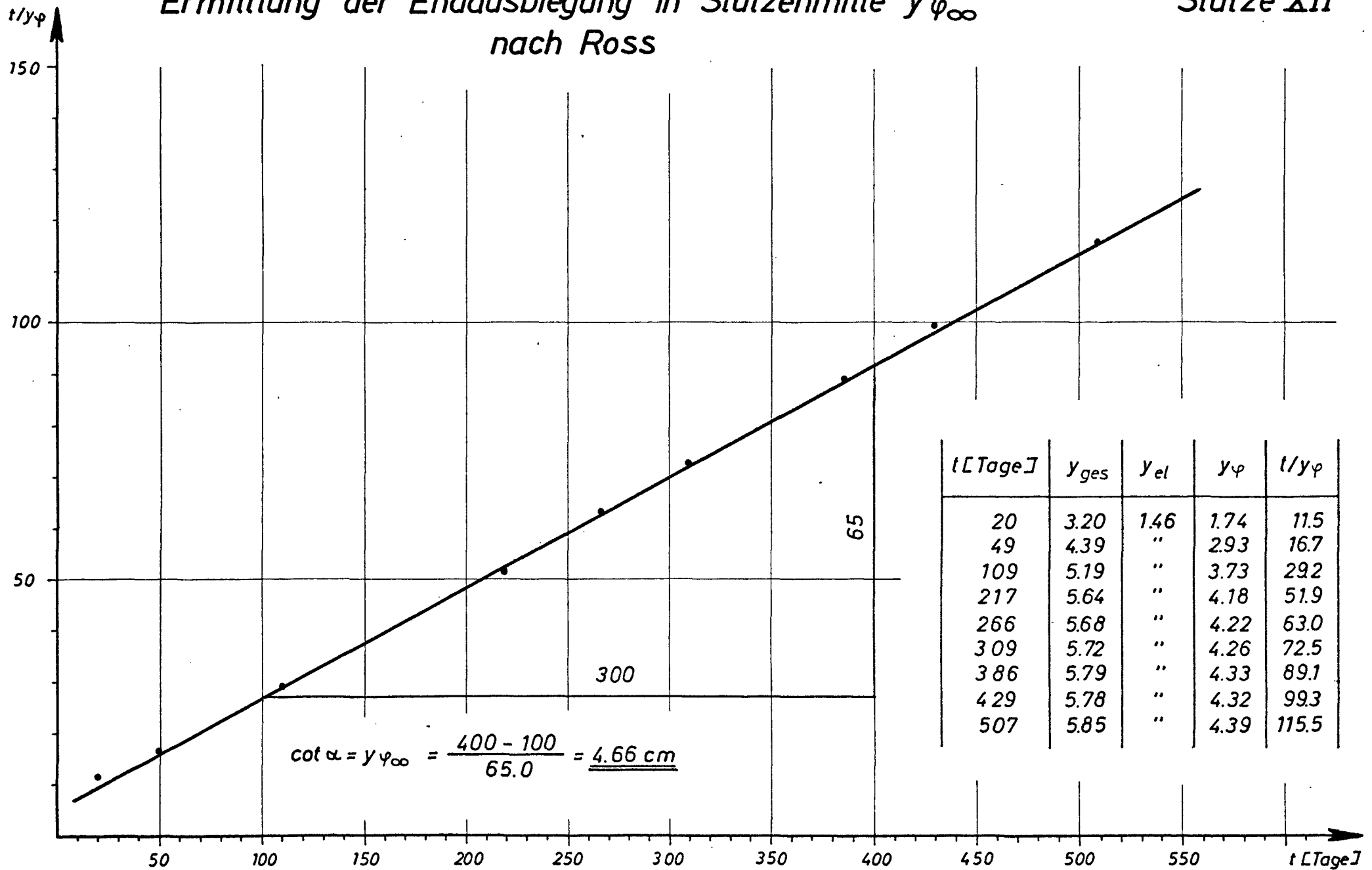
Bild 4.11

Stütze XI

Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi\infty}$ nach Ross



Ermittlung der Endausbiegung in Stützenmitte $y_{\varphi_{\infty}}$ nach Ross



Langzeit - Stützenversuch I

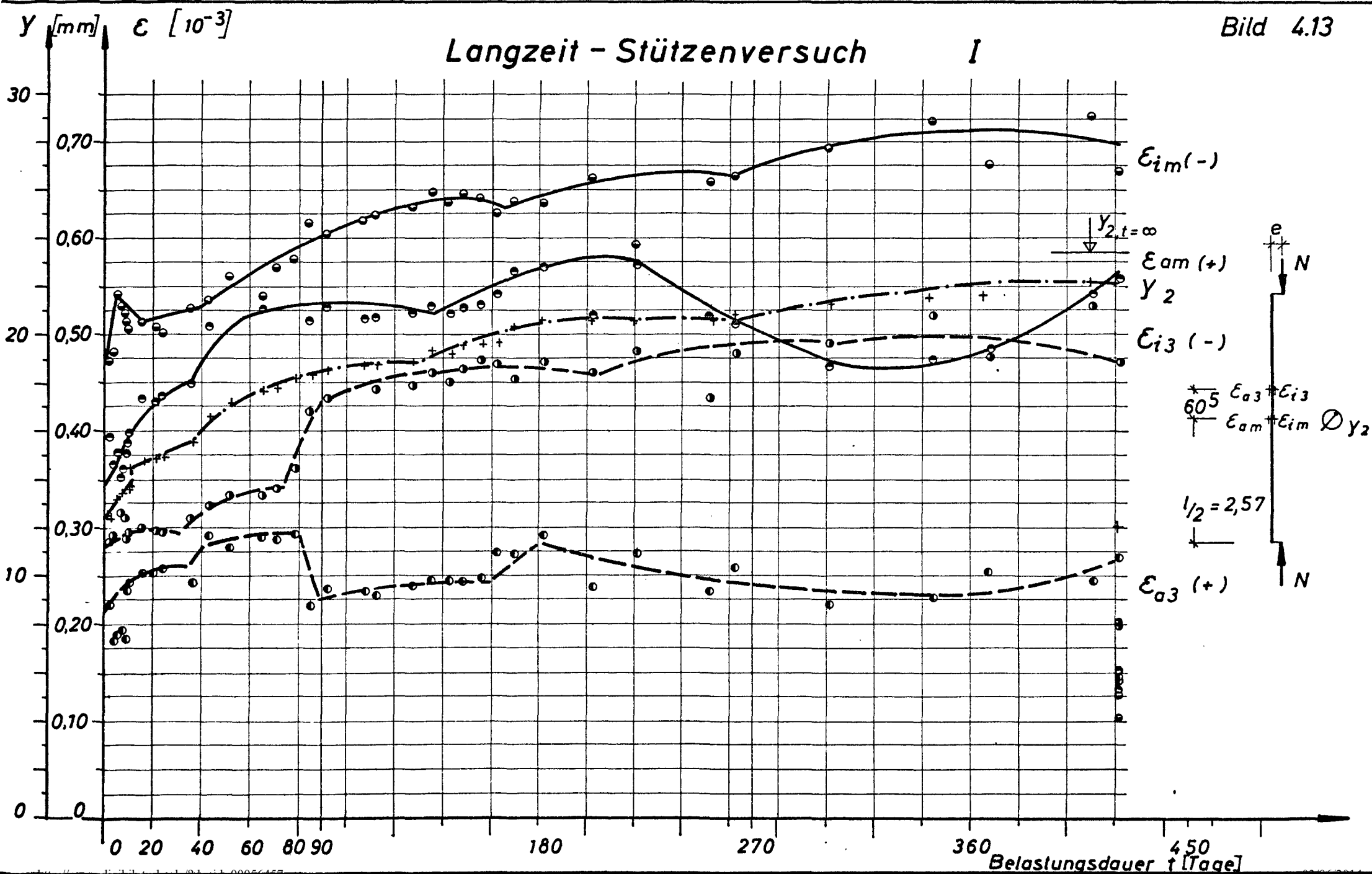
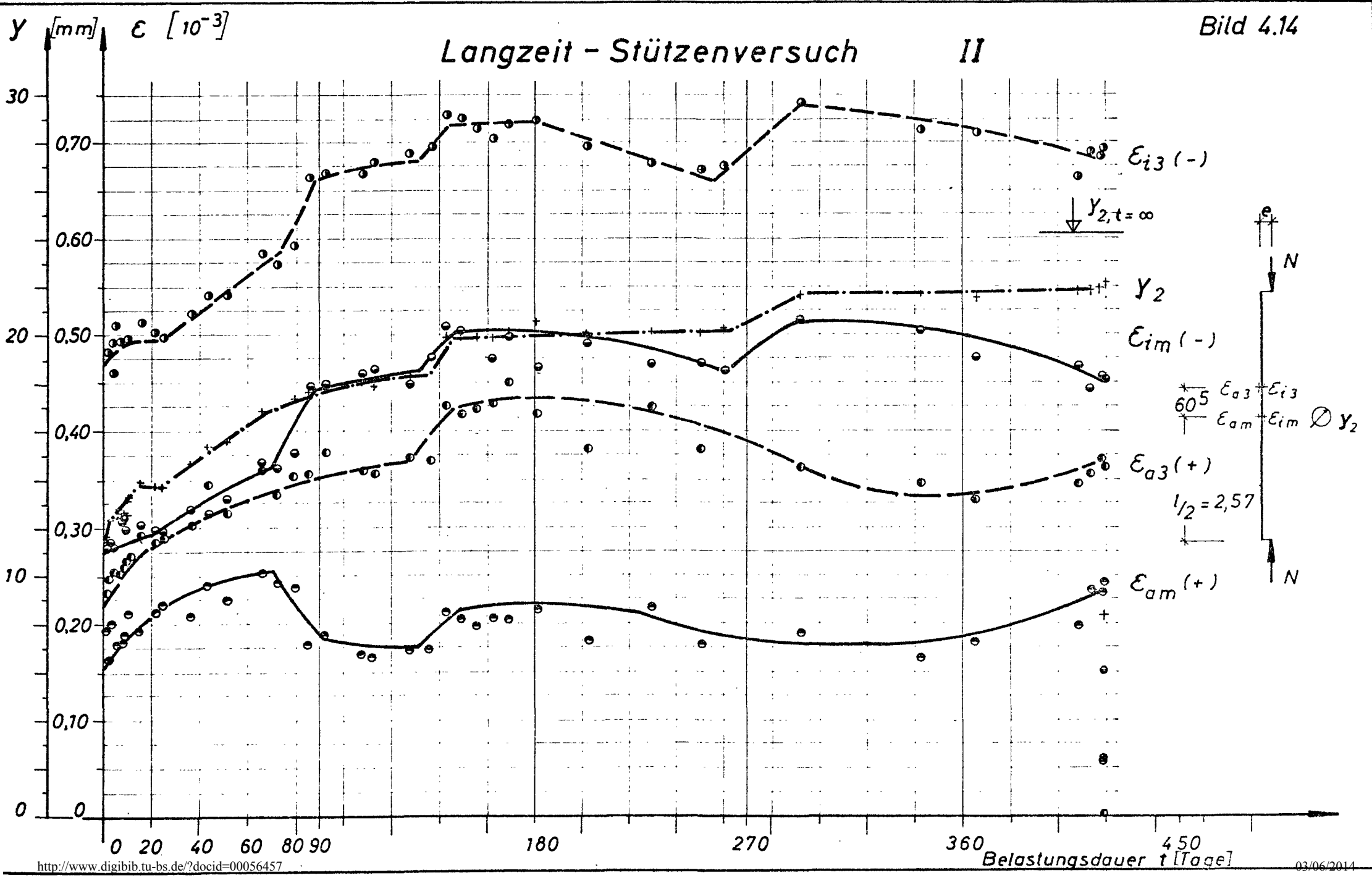
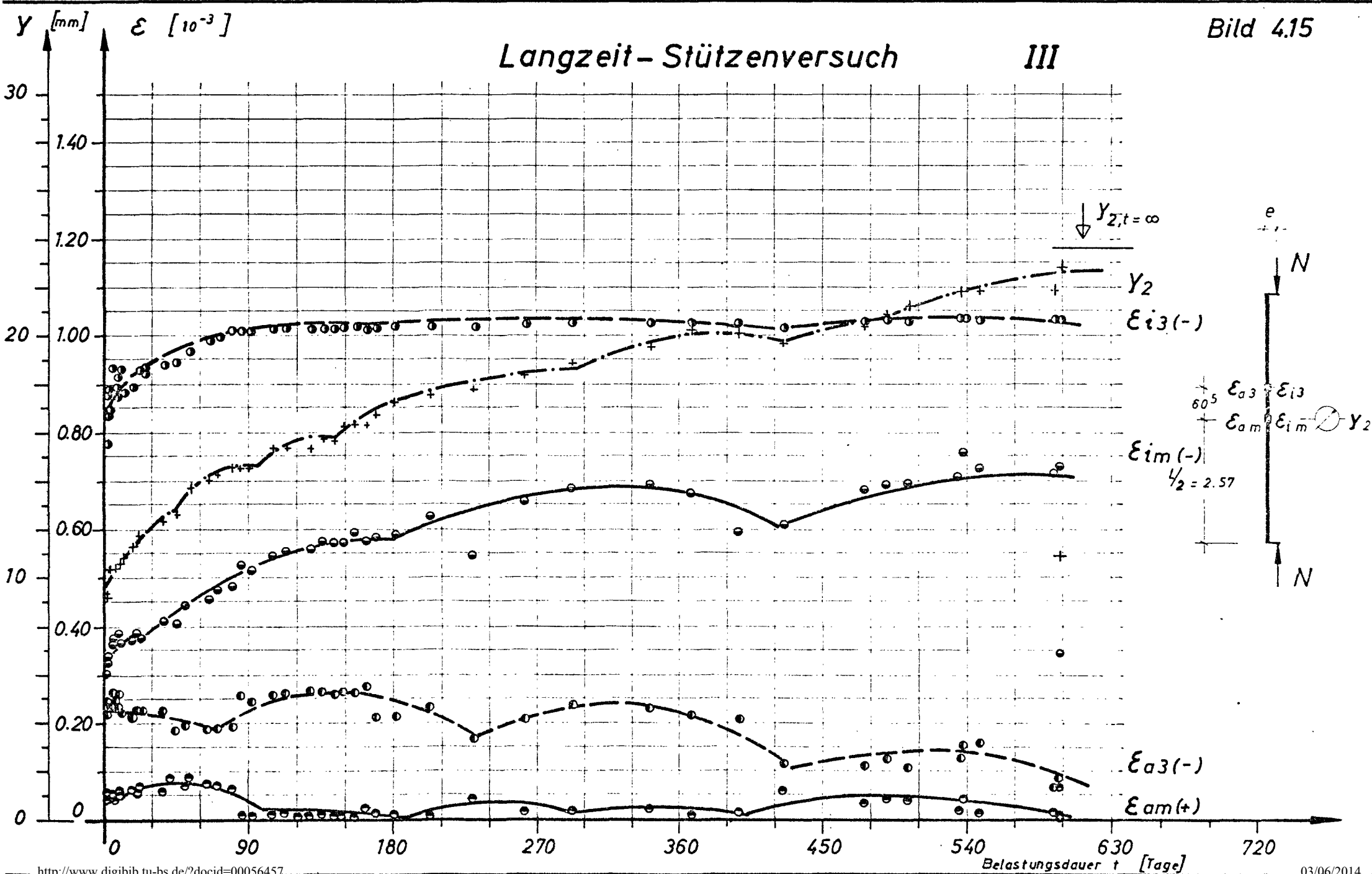


Bild 4.14

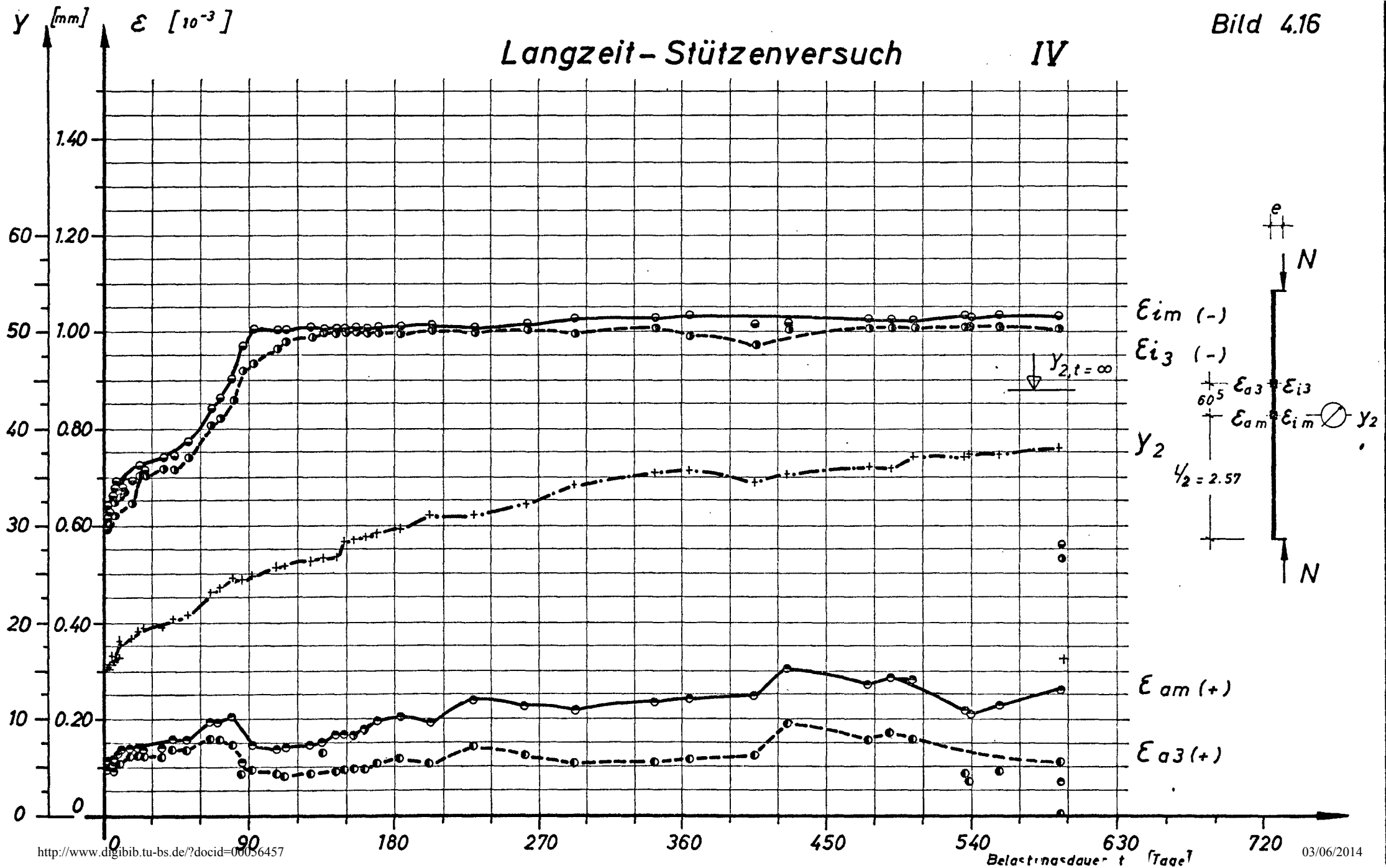


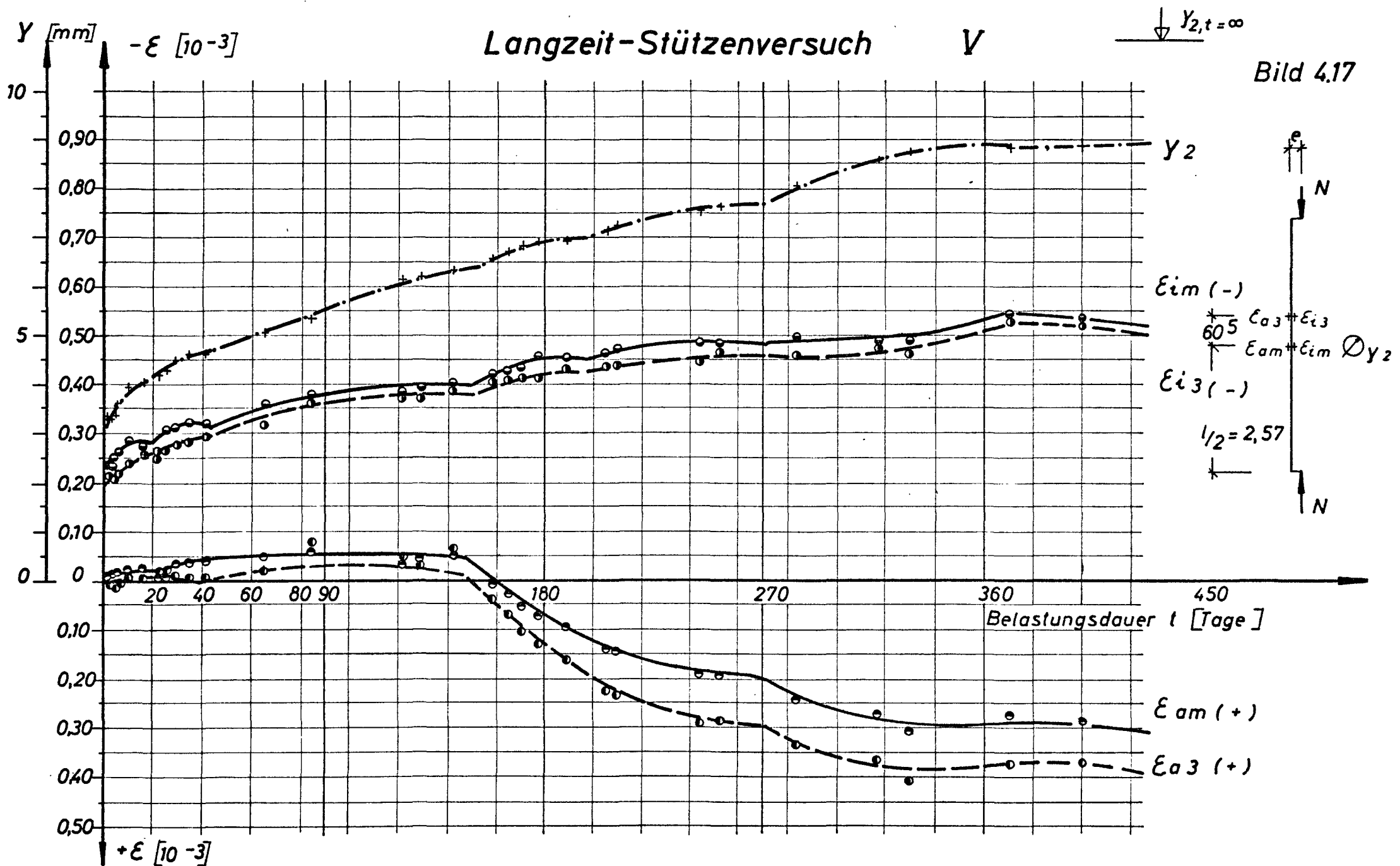
Langzeit-Stützenversuch

III



Langzeit-Stützenversuch IV

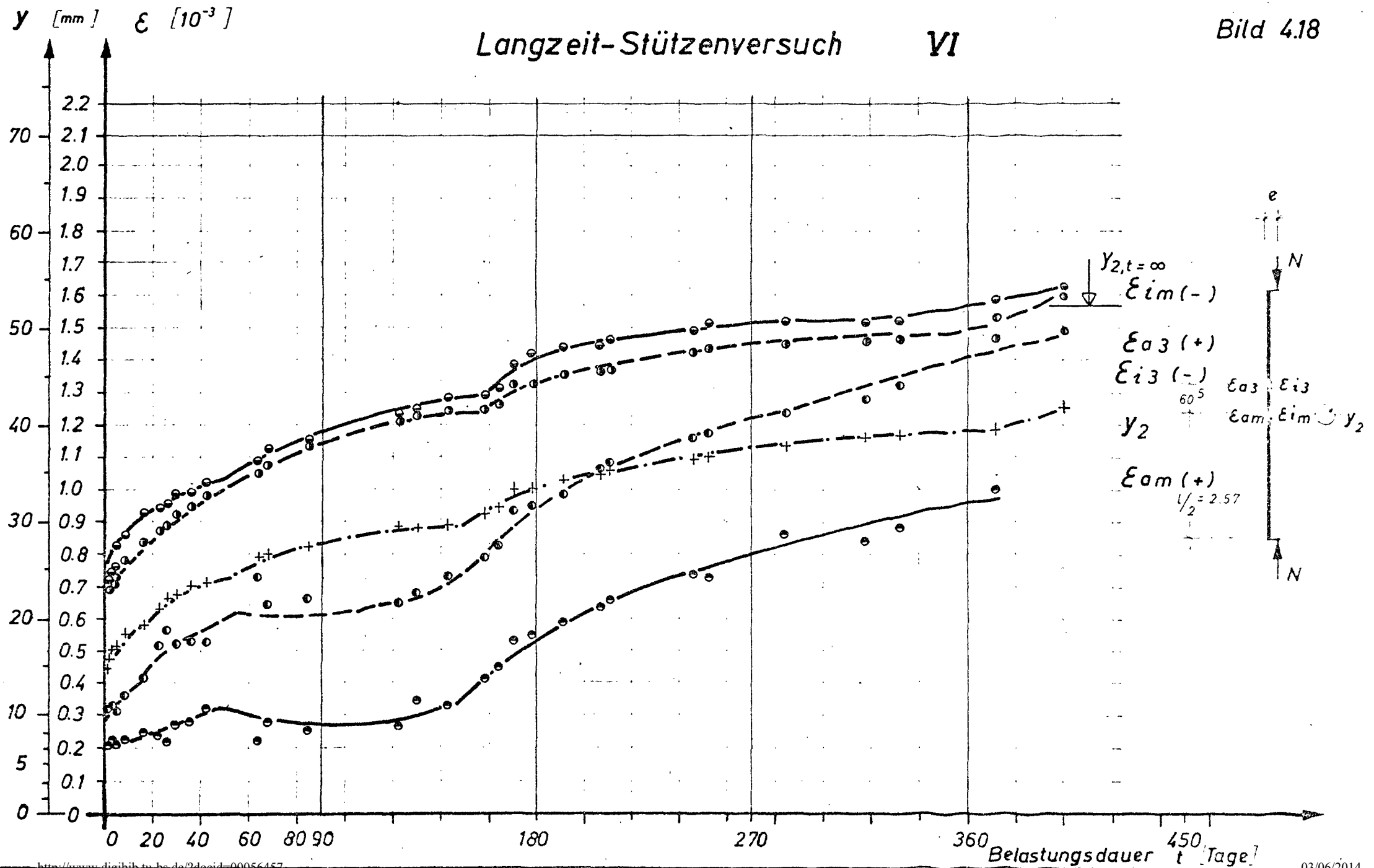




Langzeit-Stützenversuch

VI

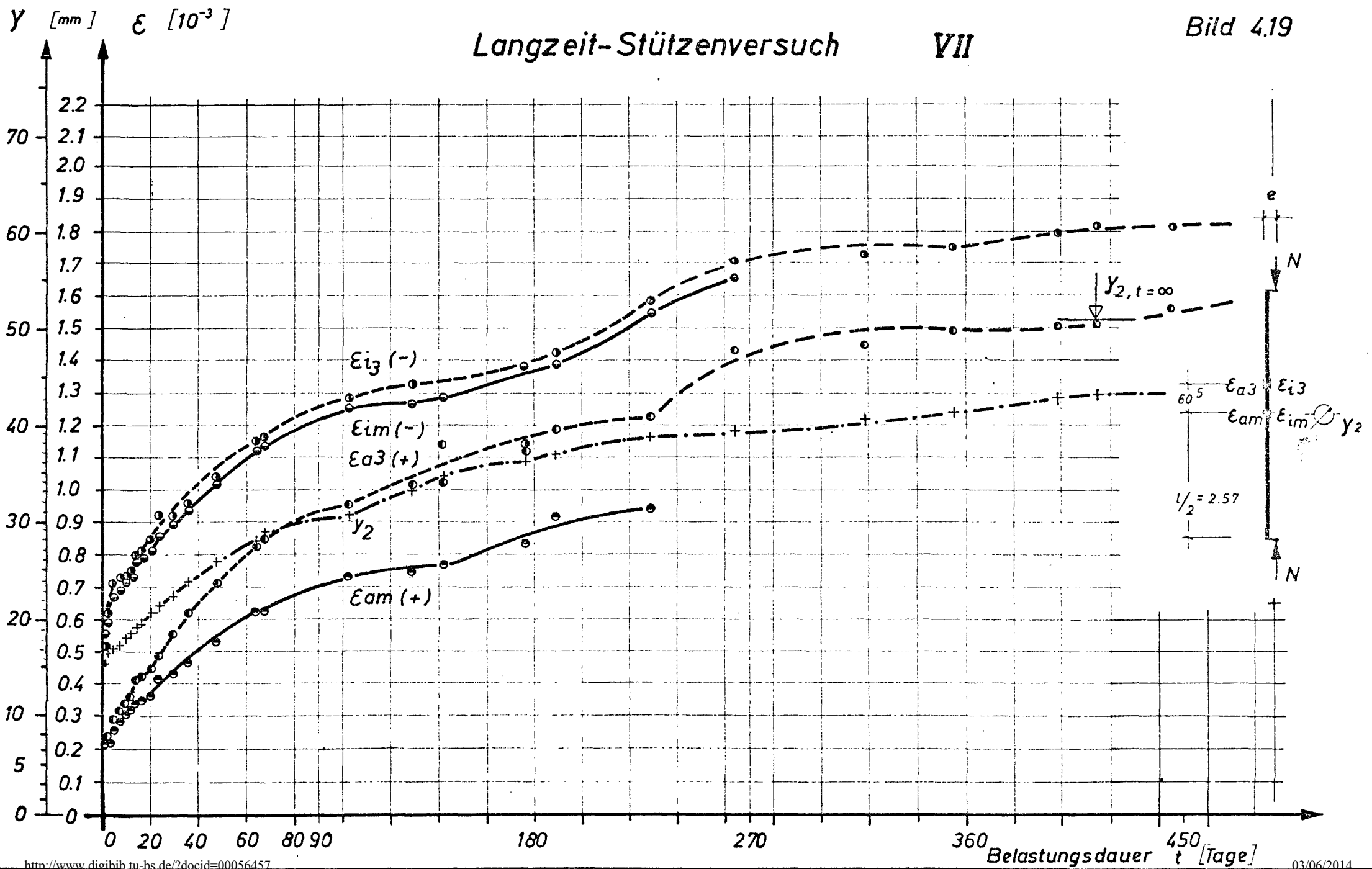
Bild 4.18



Langzeit-Stützenversuch

VII

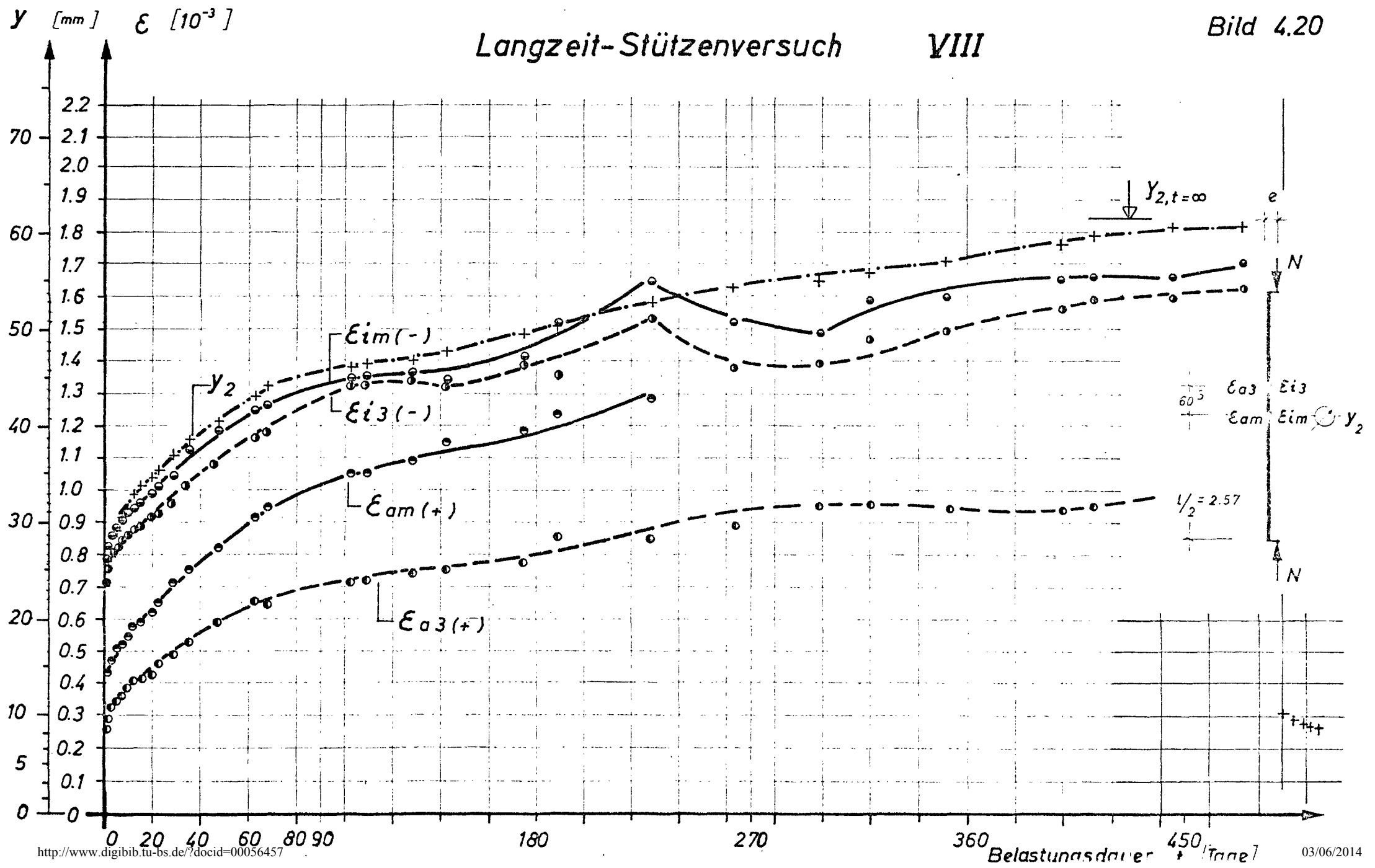
Bild 4.19



Langzeit-Stützenversuch

VIII

Bild 4.20



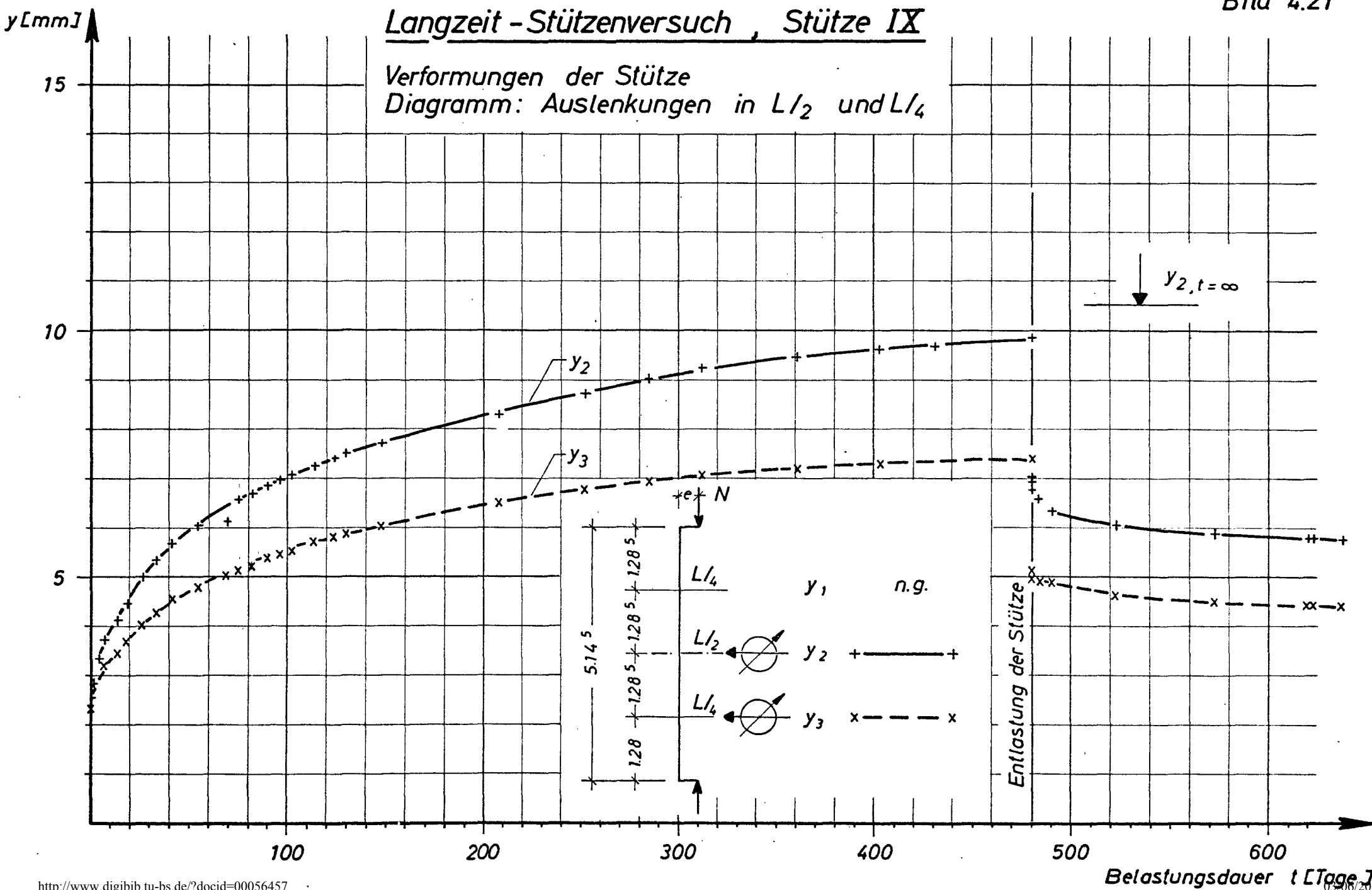


Bild 4.22

Langzeit - Stützenversuch , Stütze IX

Verformungen der Stütze
Diagramm : Betonrandstauchungen des
lastfernen Randes „ ϵ_a ”

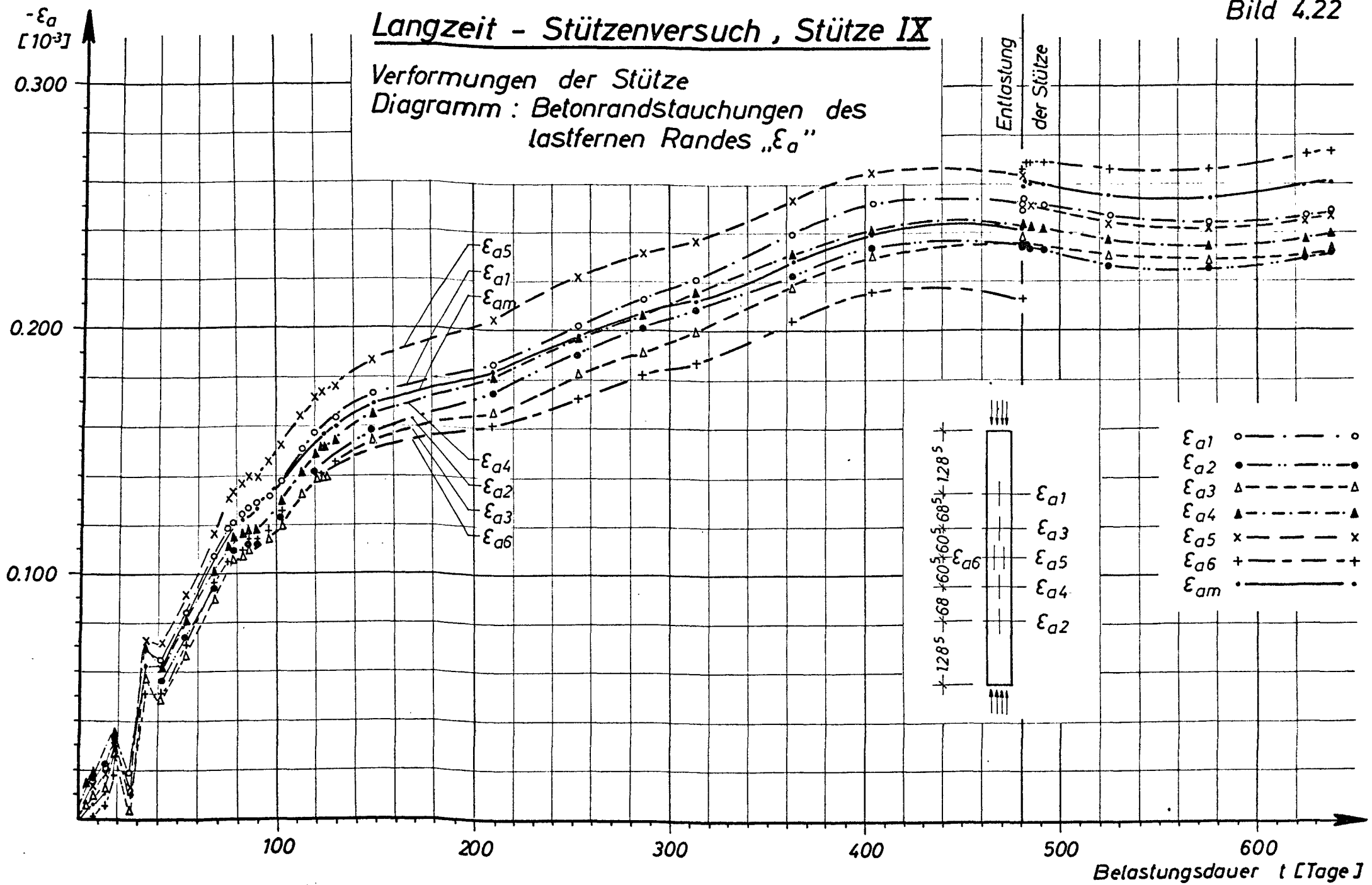
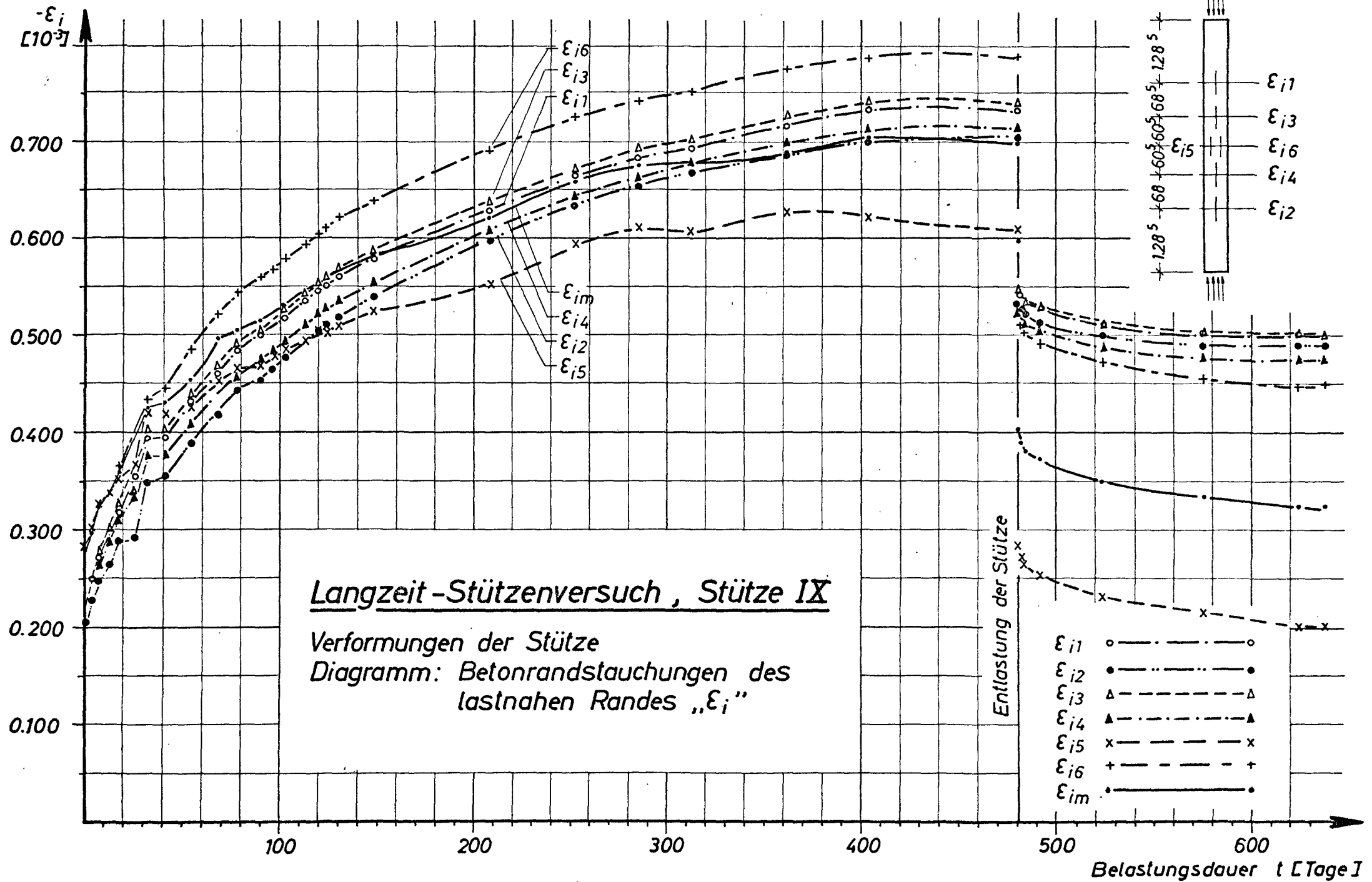
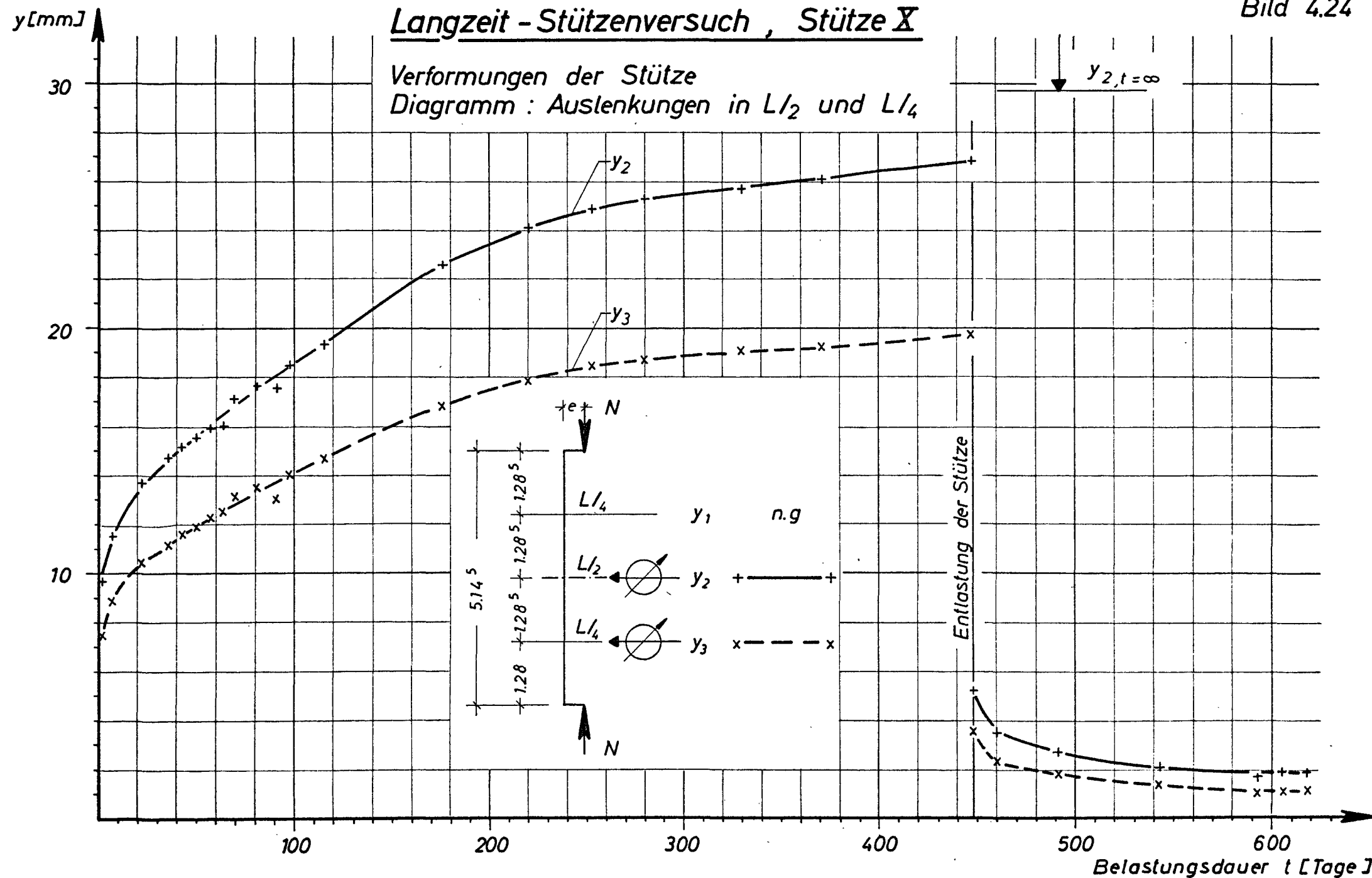


Bild 4.23



Langzeit - Stützenversuch , Stütze X

Verformungen der Stütze
Diagramm : Auslenkungen in $L/2$ und $L/4$



Langzeit - Stützenversuch , Stütze X

Bild 4.25

Verformungen der Stütze
Diagramm : Betonrandstauchungen des
lastfernen Randes „ ϵ_a “

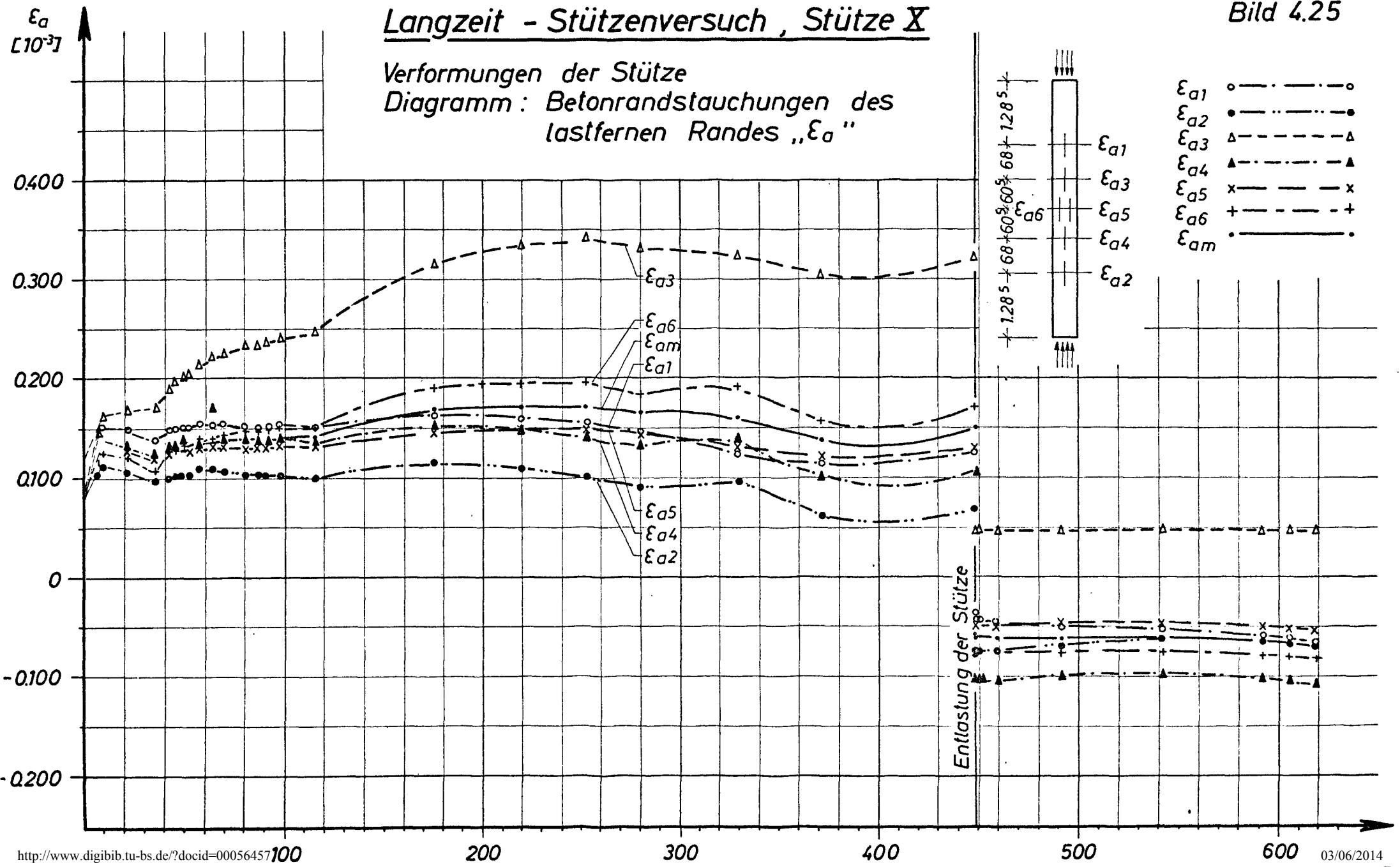


Bild 4.26

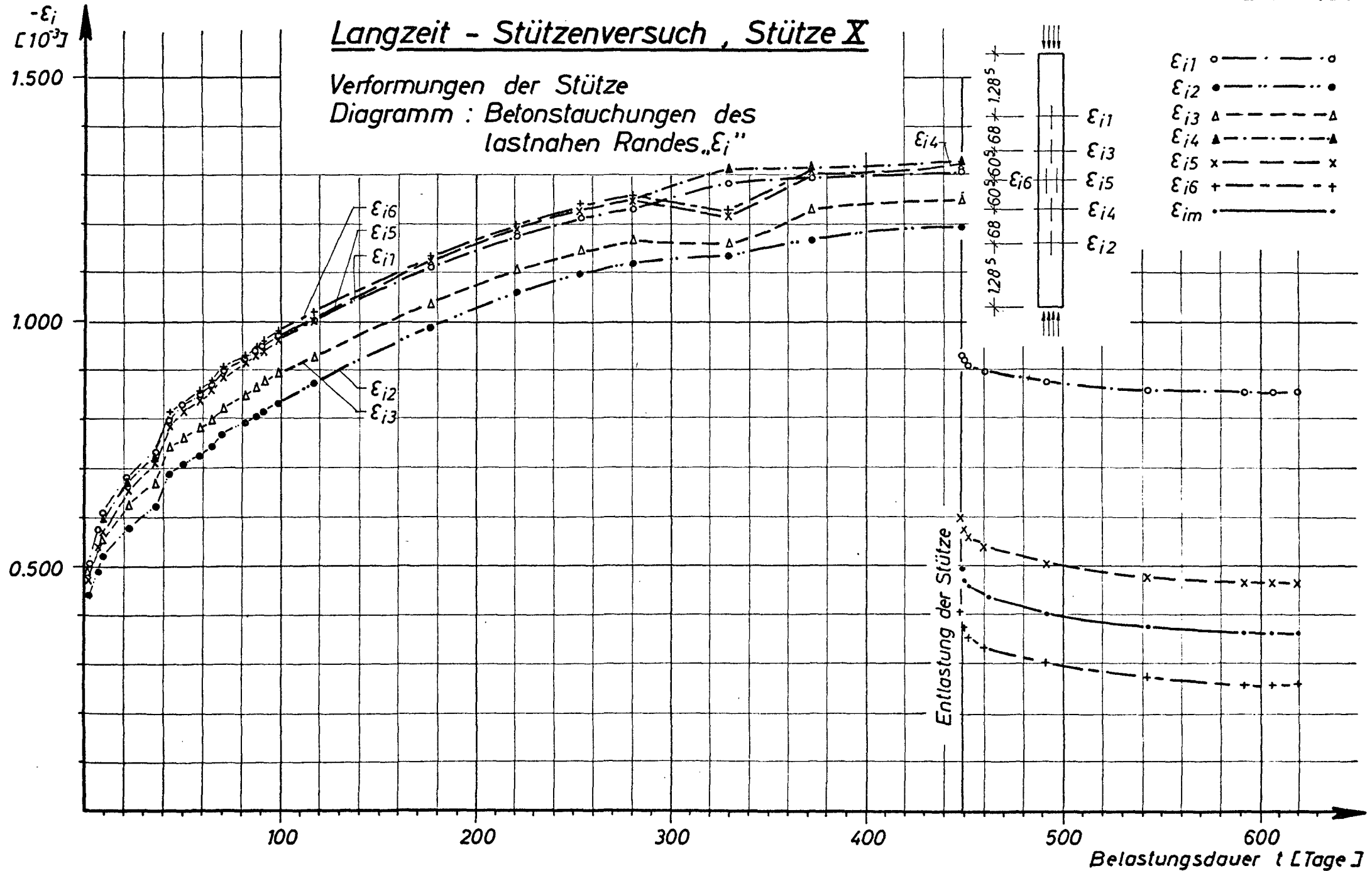


Bild 4.27

Langzeit - Stützenversuch , Stütze XI

Verformungen der Stütze

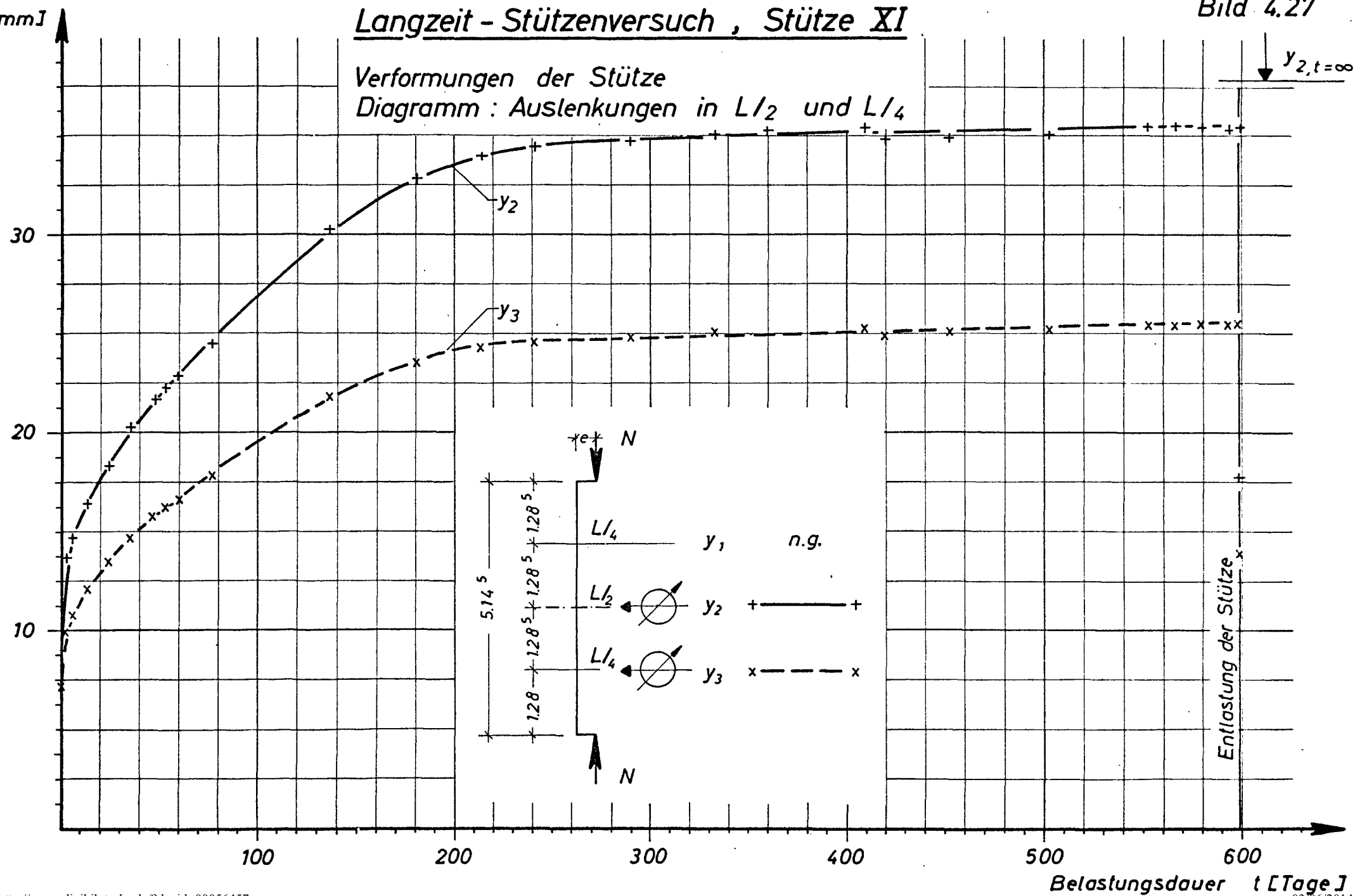
Diagramm : Auslenkungen in $L/2$ und $L/4$ 

Bild 4.28

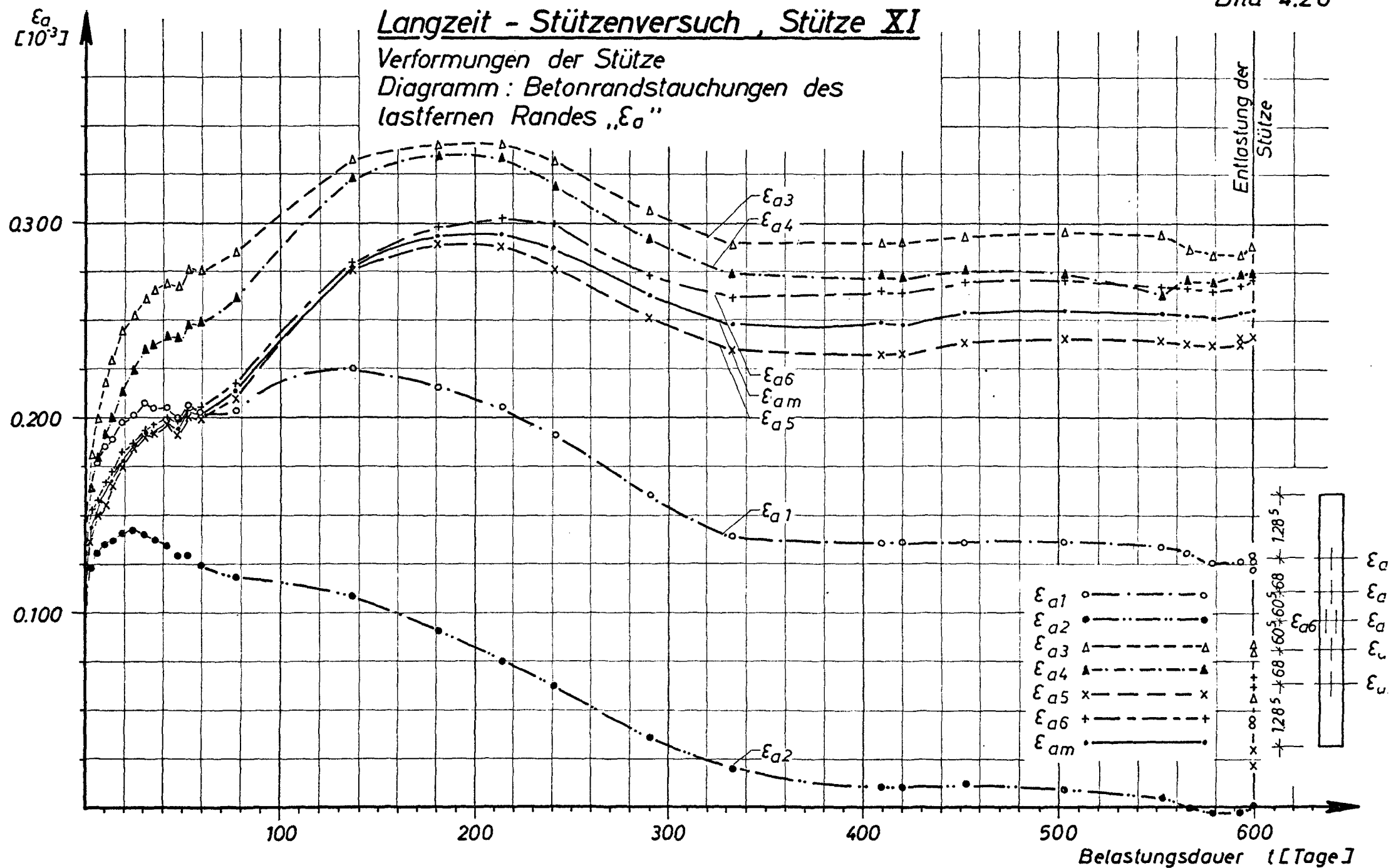
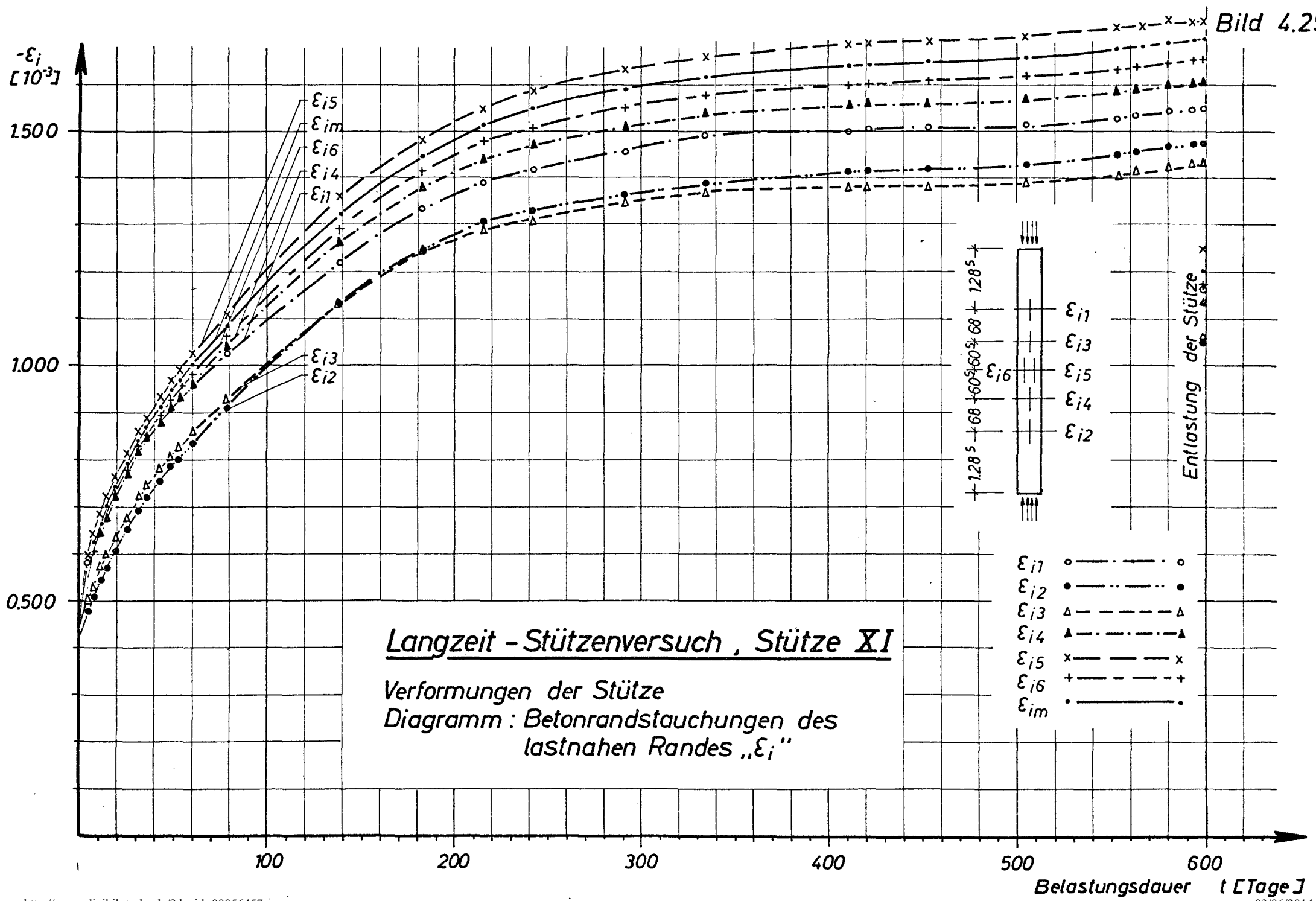


Bild 4.29



Langzeit - Stützenversuch , Stütze XII

Verformungen der Stütze
Diagramm : Auslenkungen in $L/2$ und $L/4$

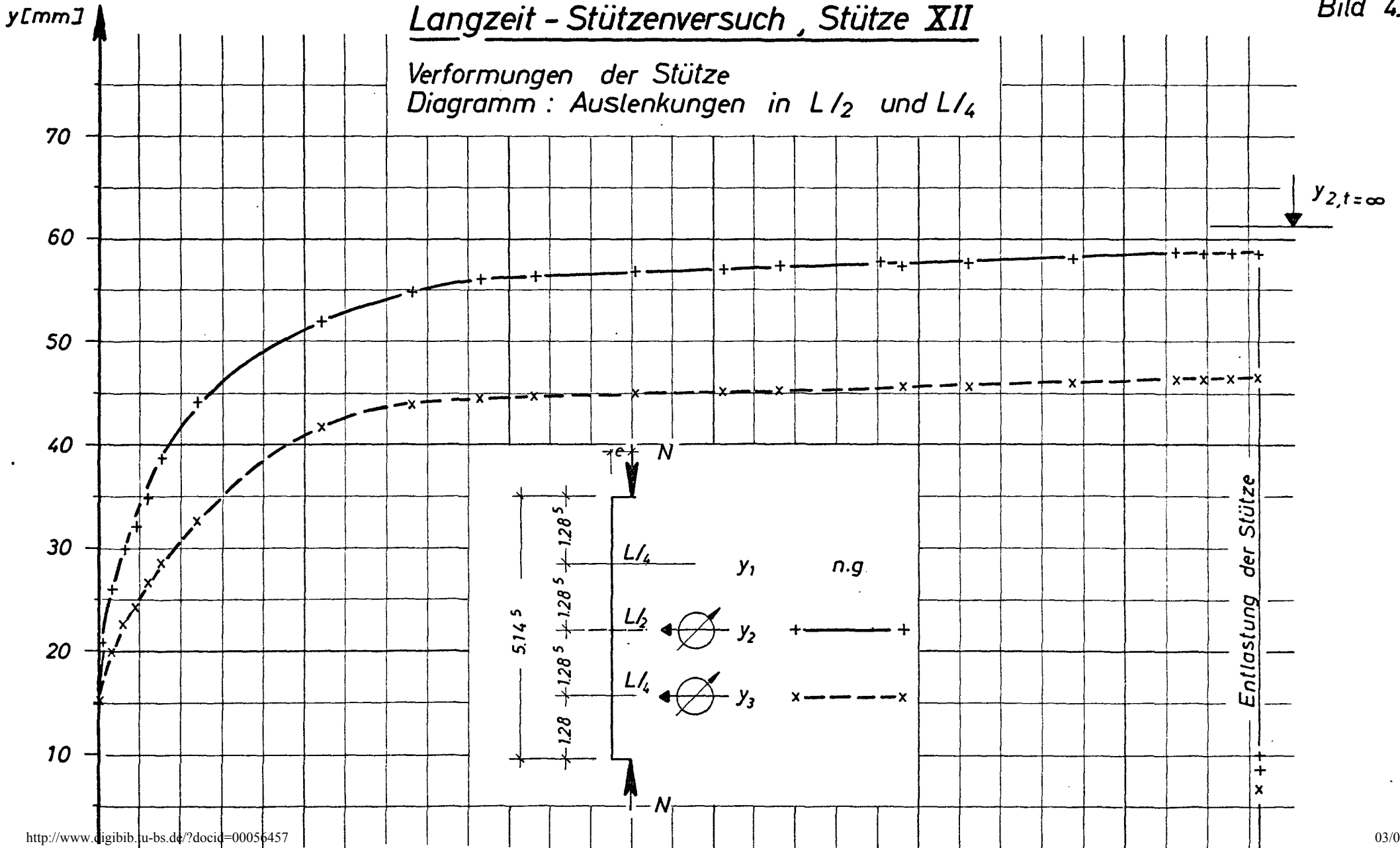
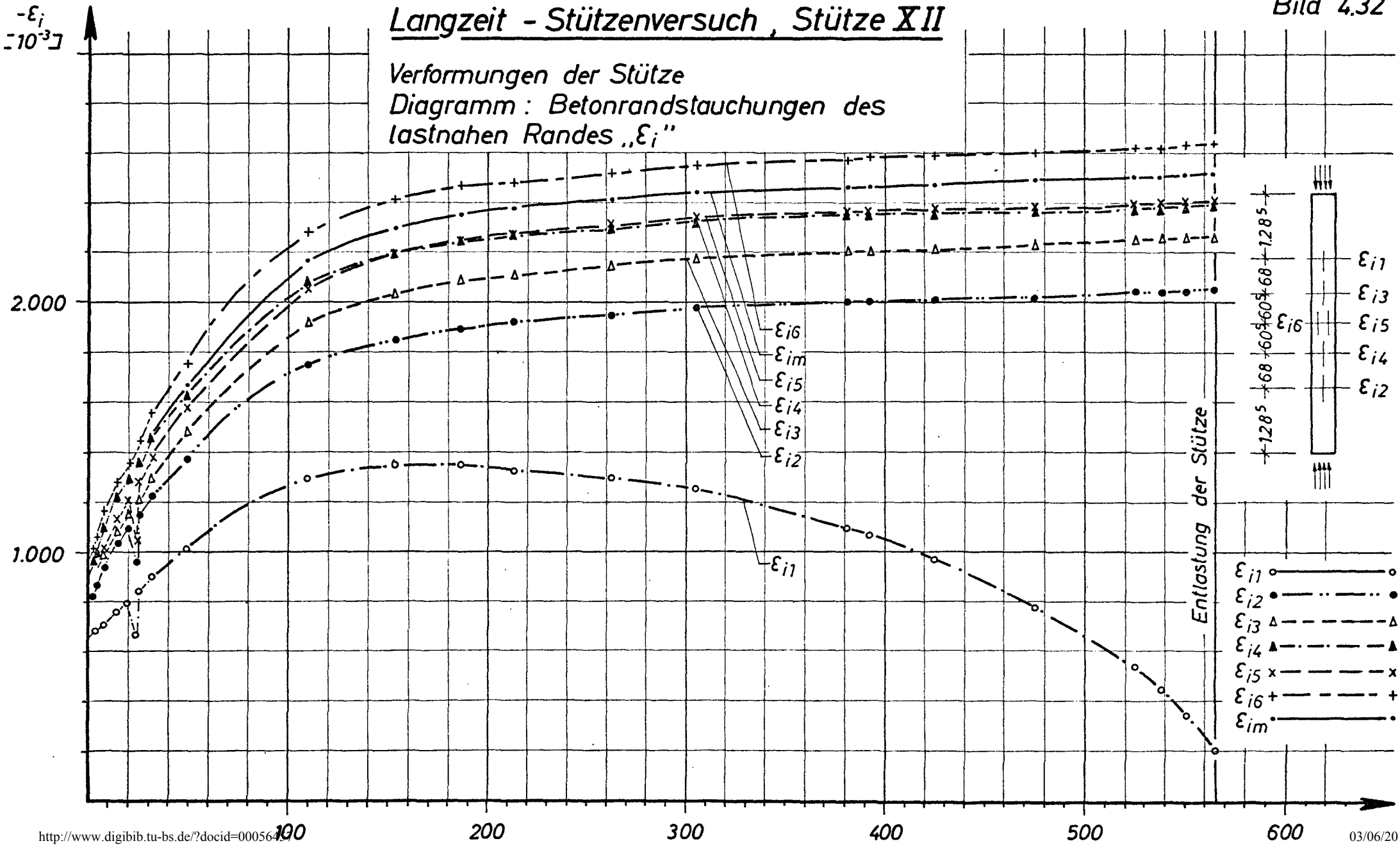


Bild 4.32



5. Ergänzende Unterlagen und Meßwerte zu den Hauptversuchen

Im folgenden Abschnitt sind jene Angaben zu den Hauptversuchen in Diagrammen und Tabellen zusammengestellt, die nur für ein eingehendes Studium des Versuchsablaufes benötigt werden.

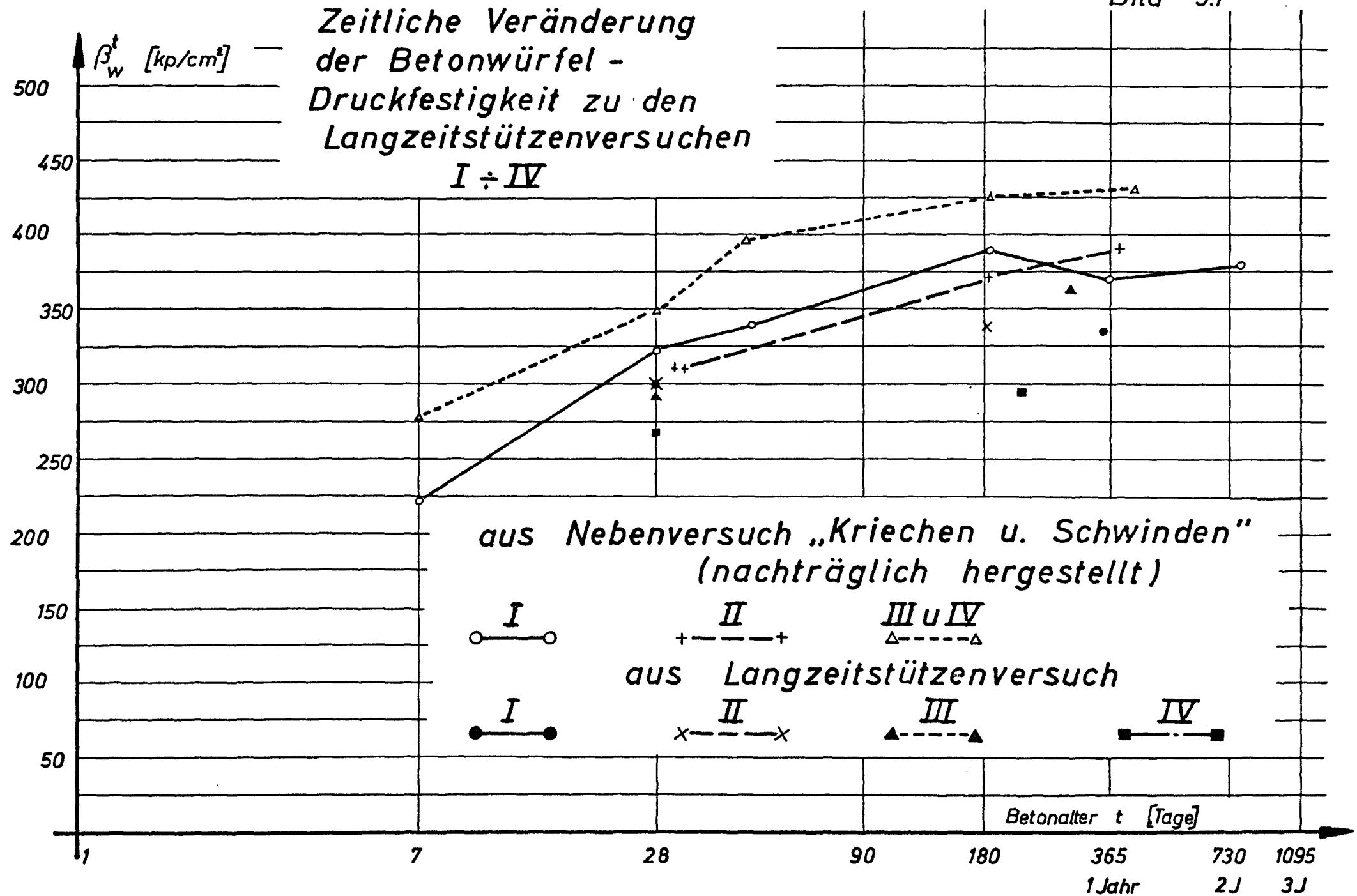
Es sind dies:

- Betonfestigkeiten und E-Modul-Werte und ihre Veränderung mit der Zeit (Bilder 5.1 bis 5.6)
- Festigkeitswerte der verwendeten Betonstähle
- Tabellarische Darstellung der an den Stützen gemessenen Verformungswerte; diese Meßwerte sind in den Bildern 4.13 - 4.32 dargestellt.

Bei den E-Modul-Versuchen wird unterschieden nach den Ergebnissen bei erstmaliger Belastung ("P") und bei in zeitlichem Abstand wiederholter Belastung ("EP").

E_{10} bedeutet den Sekantenmodul nach 10-maligem Lastspiel zwischen $\sigma_o \approx 1/3 \cdot \beta_R$ und $\sigma_u \approx 1/20 \cdot \beta_P$.

Bild 5.1



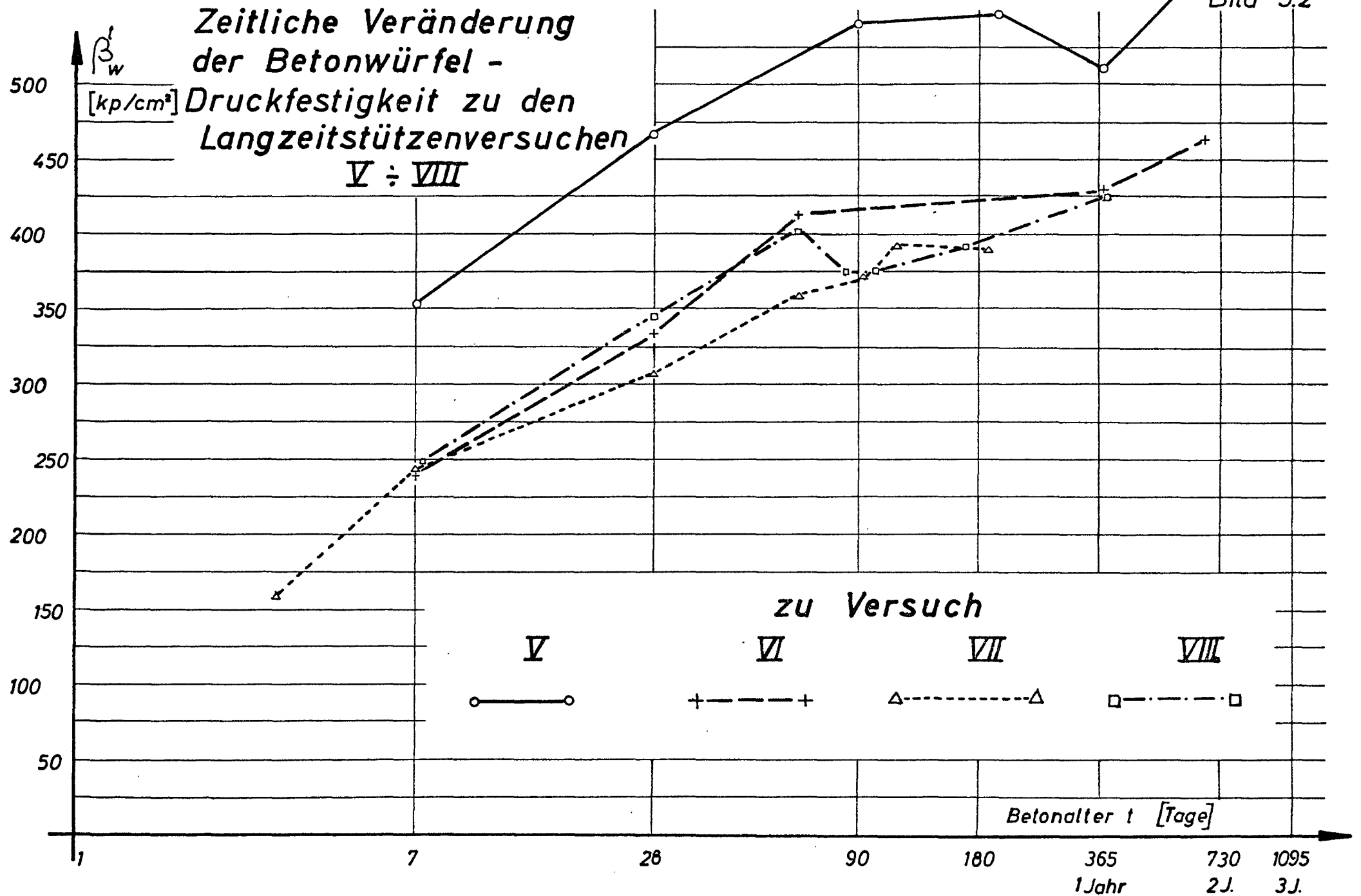


Bild 5.3

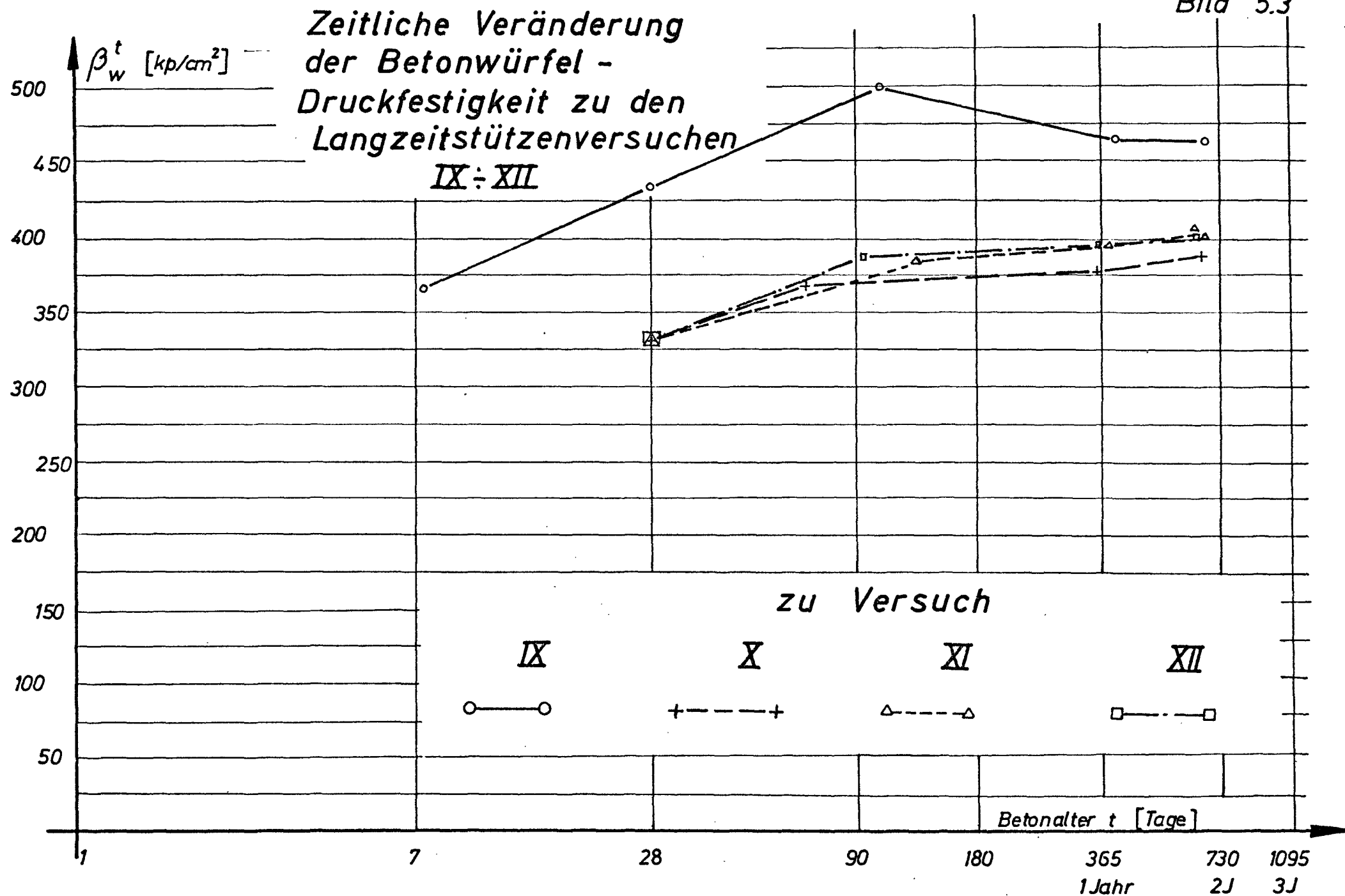
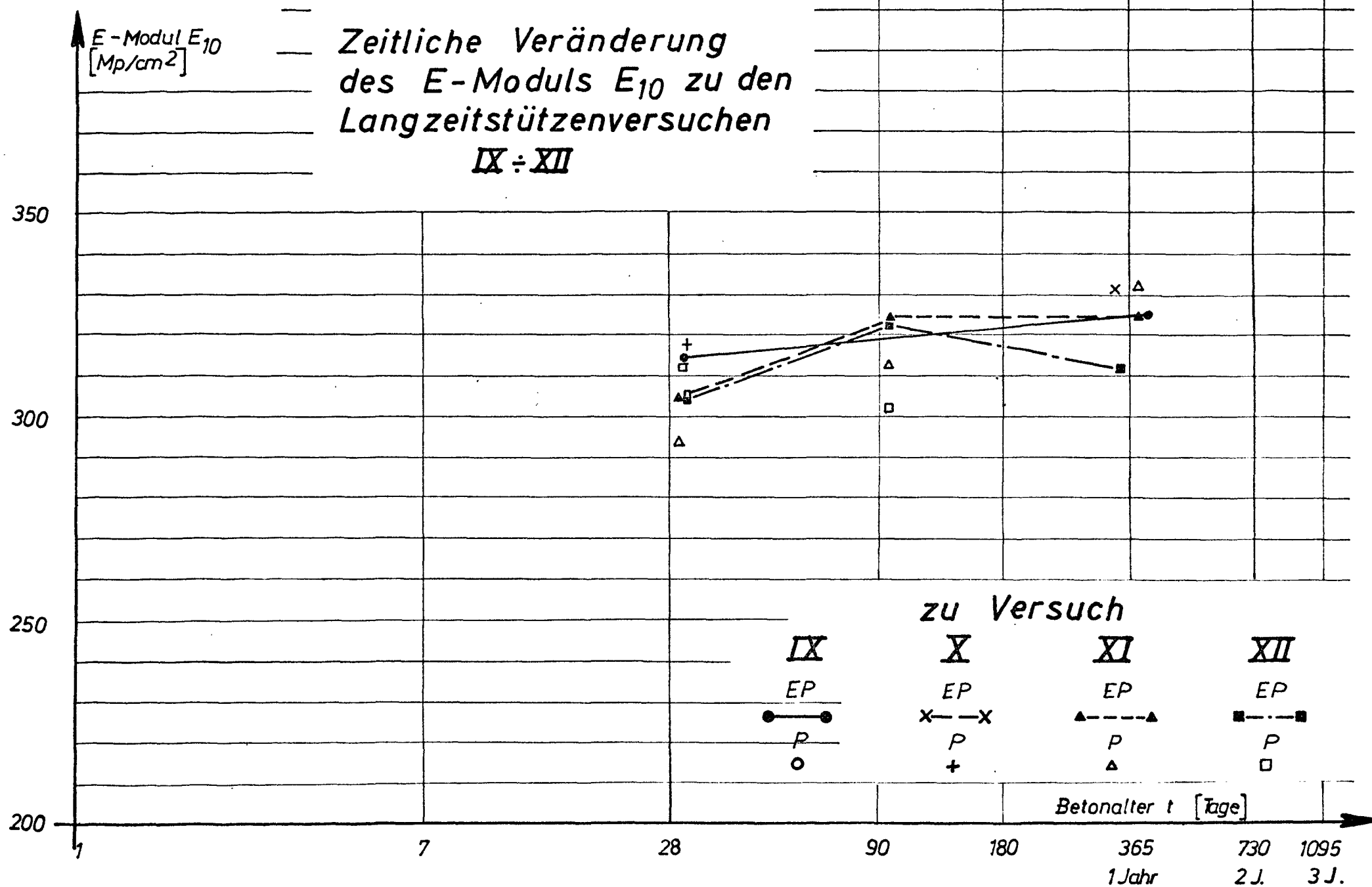
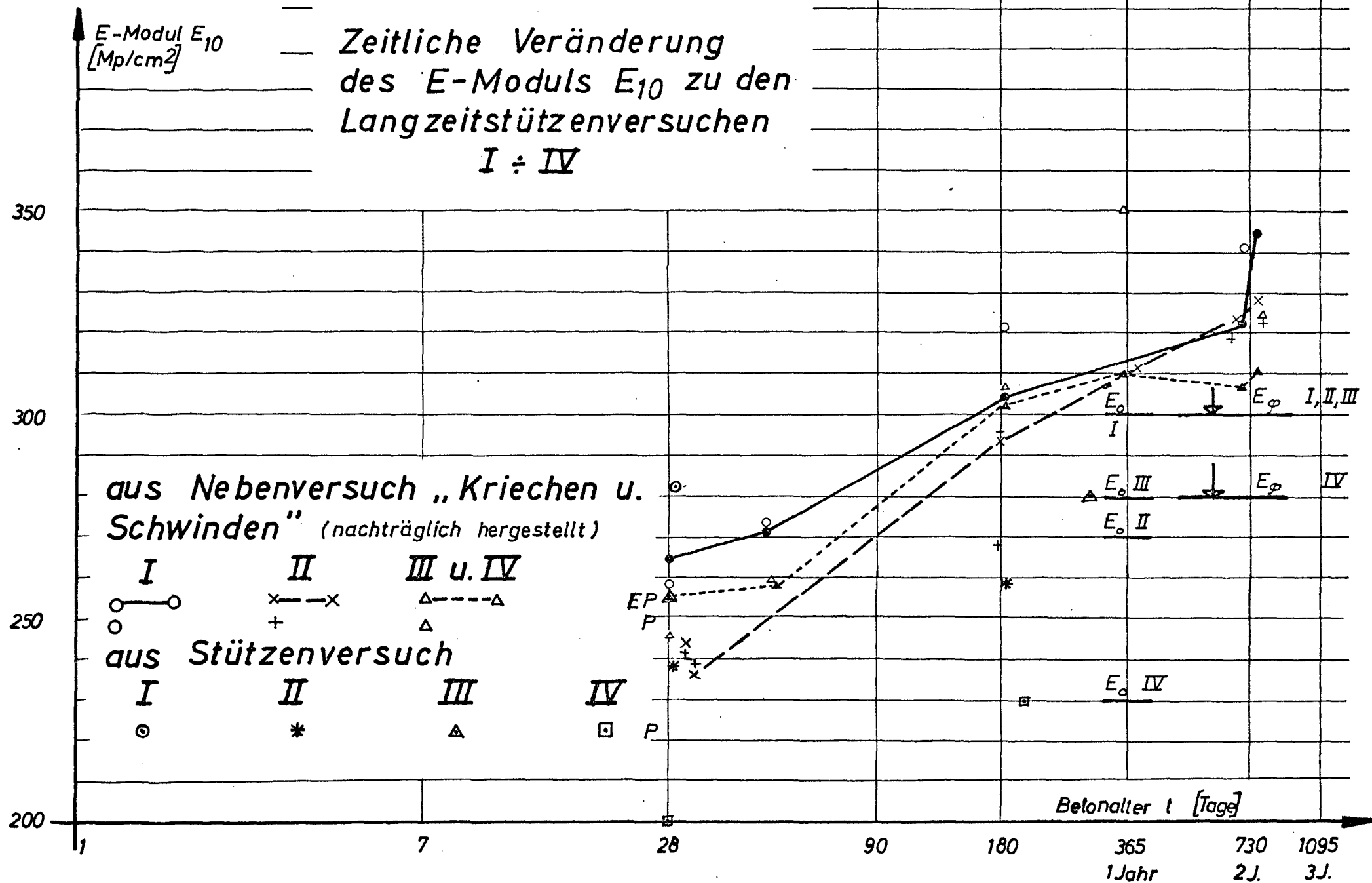
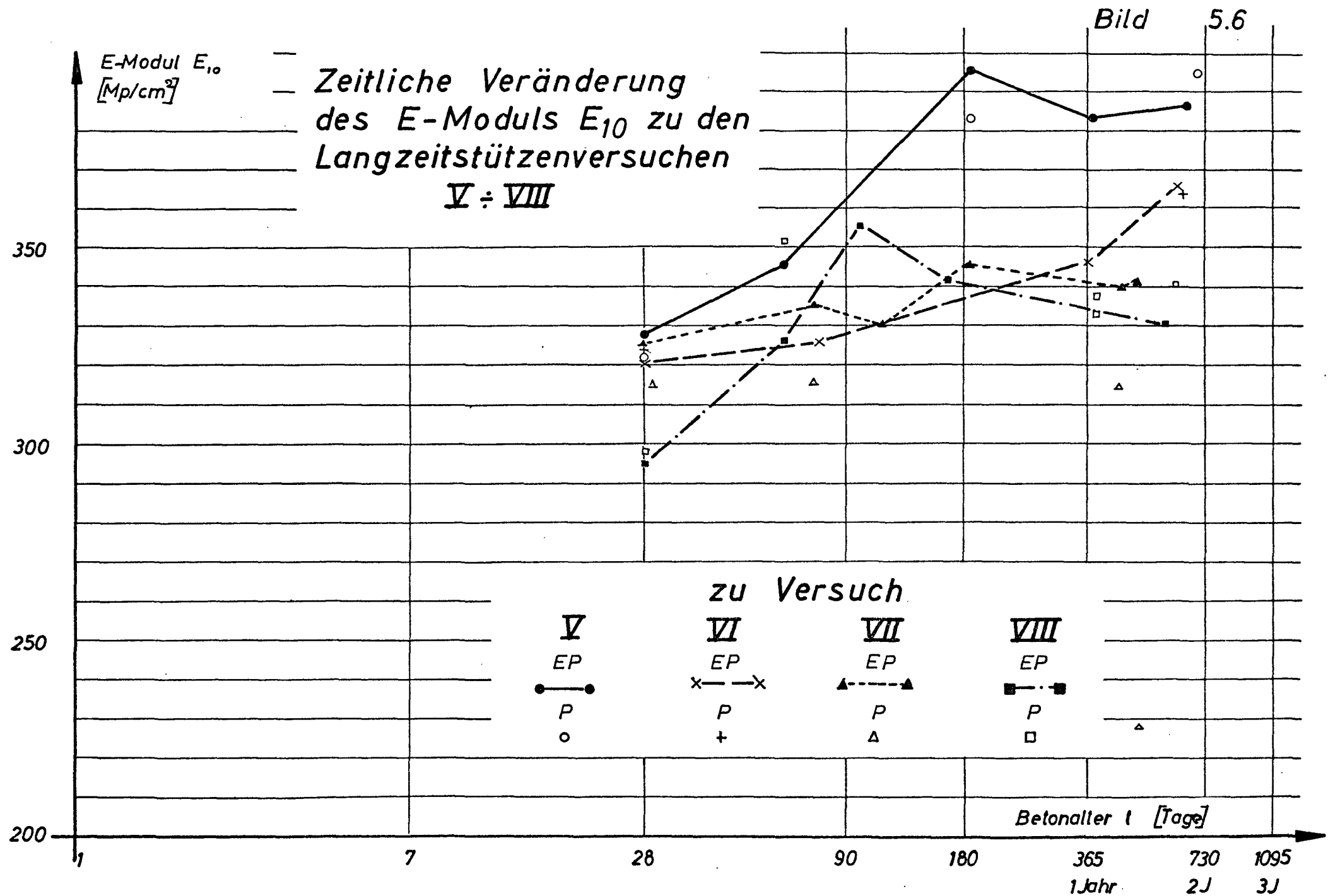


Bild 5.4







Eigenschaften der Bewehrungsstähe der Stützen I ÷ IV u. VII

Bewehrungsart	Nennwerte		Ergebnisse der Stahlprüfung										Bemerkungen
	Stab- Ø	Stahl- güte	Gemess. Einzel- wert	Stab-Ø Mittel- wert	Querschnitt Einzel- wert	Mittel- wert	Streckgrenze Einzel- wert	Mittel- wert	Zugfestigkeit Einzel- wert	Mittel- wert	Bruchdehnung Einzel- wert	Mittel- wert	
	mm		mm	mm	cm ²	cm ²	kpl/cm ²	kpl/cm ²	kpl/cm ²	kpl/cm ²	%	%	
Bügelbewehrung	5	St I	5,45		0,237		3502		4726		14,06		
			5,49		0,237		3481		4536		14,50		Bügelbewehrung
			5,51	5,48	0,237	0,237	3439	3499	4430	4582	14,06	14,24	der Stützen
			5,45		0,237		3544		4662		14,06		LK I ÷ LK IV
			5,48		0,237		3523		4557		14,50		
Längsbewehrung	12,0	St I					2678		3943		39,7		
			12,14				2684		3981		40,4		Längsbewehrung
			12,14	12,15		1,163	2675	2668	3924	3943	40,4	39,8	der Stütze
			12,16				2681		3956		38,3		LK VII
							2623		3911		40,4		
	12,0	St I	12,15		1,169		2412		3512		31,1		
			12,18		1,169		2789		3931		32,8		Längsbewehrung
			12,23	12,17	1,169	1,165	2857	2665	3952	3789	32,0	32,5	der Stützen
			12,13		1,150		2526		3587		33,1		LK I - LK IV
			12,16		1,169		2742		3961		33,6		
Bügelbewehrung	6	St I	6,36		0,322		3571		4301		20,50		
			6,41		0,322		3500		4295		19,50		Bügelbewehrung
			6,40	6,40	0,332	0,324	3720	3529	4435	4317	19,75	18,49	der Stütze
			6,37		0,322		3360		4239		16,34		LK VII
			6,40		0,322		3494		4314		16,34		

Eigenschaften der Bewehrungsstähle der Stütze V (IX)

Bewehrungsart	Nennwerte		Ergebnisse der Stahlprüfung										Bemerkungen	
	Stab- Ø	Stahl- güte	Gemess. Einzel- wert	Stab-Ø Mittel- wert	Querschnitt Einzel- wert	Mittel- wert	Streckgrenze Einzel- wert	Mittel- wert	Zugfestigkeit Einzel- wert	Mittel- wert	Bruchdehnung δ_5 Einzel- wert	Mittel- wert		
	mm		mm	mm	cm ²	cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	%	%		
Bügelbewehrung	6,0	StIIIb							5374		10,0			
			6,06						5443		13,3		Bügelbewehrung der Stütze LK V	
			6,09	6,07		0,2894		4665	5391	5429	13,3	13,1		
			6,07						5460		13,3			
											5477		15,6	
Längsbewehrung	12,0	StIIIb							5628		15,8			
			12,08						5628		16,7		Längsbewehrung der Stütze LK V	
			12,08	12,08		1,146		4581	5636	5629	15,8	15,8		
			12,07						5619		15,0			
											5639		15,8	

Eigenschaften der Bewehrungsstäbe der Stützen VI u. VIII (X u. XI)

Bewehrungsart	Nennwerte		Ergebnisse der Stahlprüfung										Bemerkungen
	Stab- Ø mm	Stahl- güte	Gemess. Einzel- wert mm	Stab-Ø Mittel- wert mm	Querschnitt Einzel- wert cm ²	Mittel- wert cm ²	Streckgrenze Einzel- wert kg/cm ²	Mittel- wert kg/cm ²	Zugfestigkeit Einzel- wert kg/cm ²	Mittel- wert kg/cm ²	Bruchdehnung Einzel- wert %	Mittel- wert %	
Bügelbewehrung	8,0	StIIIb	8,16						5367		12,5		Bügelbewehrung der Stützen LKVI , LKVIII
			8,16	8,15		0,5217		4696	5348		12,5		
			8,15						5338	5352	11,3	12,5	
									5358		13,8		
Längsbewehrung	18,0	StIIIb	17,99				4726		5585		13,3		Längsbewehrung der Stütze LK VI
			17,98	17,98		2,539	4529	4621	5435	5529	13,3	13,2	
			17,97				4608		5569		12,8		
	22,0	StIIIb	21,625		3,671		4467		5149		15,0		Längsbewehrung der Stütze LK VIII
			21,621		3,667		4295		5176		13,2		
			21,621	21,622	3,670	3,670	4087	4206	5163	5169	11,8	14,2	
			21,613		3,667		4096		5168		14,5		
			21,631		3,673		4084		5189		16,4		

Eigenschaften der Bewehrungsstäbe der Stütze XI

Bewehrungsart	Nennwerte		Ergebnisse der Stahlprüfung								Bruchdehnung ϵ_r		Bemerkungen
	Stab- Ø	Stahl- güte	Gemess. Einzel- wert	Stab-Ø Mittel- wert	Querschnitt Einzel- wert	Mittel- wert	Streckgrenze Einzel- wert	Mittel- wert	Zugfestigkeit Einzel- wert	Mittel- wert			
	mm		mm	mm	cm ²	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	%	%	
Bügelbewehrung	6	I											nicht geprüft
Längsbewehrung	12	I	11,77		1,0880		2858		3585		33,8		Längsbewehrung der Stütze XI aus der Stütze ,
			11,81		1,1054		2859		3619		32,9		
			12,01	11,88	1,1329	1,1105	2816	2833	4308	3886	32,1	33,7	
			12,01		1,1329		2816		4308		36,3		
			11,80		1,0936		2816		3612		33,3		
													nach dem Bruchversuch entnommen

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

I

Belastungsbeginn am 30. 8. 1966

Herstellungstag: 27.9. 1965

lf. Nr	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am}^{+0.5}$ $(\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{(m+0.5)}$ $(\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	30.8.66	14 ³⁶	05'	26,0	55	10,61	7,78	0,189	0,202	0,161	0,332	0,292	0,330	0,312	0,207	0,211	0,234	0,389	0,464	0,446	0,455
2	30.8.	16 ¹⁷	2h 50'	26,5	53	10,62	7,90	0,201	0,207	0,177	0,336	0,306	0,343	0,326	0,198	0,214	0,226	0,394	0,454	0,440	0,447
3	31.8	8 ¹⁶	16h 5'	21,5	53	11,95	8,61	0,249	0,231	0,261	0,390	0,391	0,431	0,406	0,171	0,261	0,221	0,468	0,439	0,459	0,449
4	31.8	8 ⁴⁶	16h 35'	21,5	55	11,41	8,69	0,249	0,243	0,248	0,368	0,375	0,407	0,391	0,192	0,262	0,239	0,444	0,425	0,440	0,434
5	31.8.	14 ⁴⁰	22h 20'	21,0	60	12,20	8,83	0,249	0,246	0,240	0,392	0,374	0,413	0,394	0,206	0,272	0,247	0,457	0,437	0,447	0,442
6	31.8.	16 ⁵⁰	24h 35'	17,5	65	12,46	9,04	0,229	0,237	0,220	0,389	0,363	0,406	0,392	0,242	0,299	0,285	0,495	0,465	0,474	0,470
7	1.9.	9 ²³	37h 5'	19,5	65	12,51	9,01	0,241	0,237	0,230	0,382	0,365	0,401	0,394	0,225	0,293	0,265	0,460	0,469	0,475	0,472
8	1.9.	16 ⁰²	43h 35'	19,0	65	12,51	8,99	0,220	0,234	0,199	0,375	0,335	0,373	0,355	0,262	0,276	0,284	0,440	0,502	0,485	0,495
9	1.9.	16 ³⁵	44h 5'	19,0	67	12,42	9,96	0,216	0,233	0,182	0,369	0,332	0,373	0,354	0,262	0,274	0,289	0,431	0,489	0,479	0,484
10	2.9.	8 ¹⁶	55h 35'	19,0	67	12,98	9,32	0,225	0,247	0,186	0,391	0,333	0,392	0,360	0,286	0,285	0,307	0,440	0,531	0,506	0,519
11	2.9.	11 ¹⁰	59h 20'	20,0	58	13,17	9,39	0,269	0,253	0,266	0,408	0,395	0,427	0,411	0,249	0,290	0,263	0,462	0,470	0,476	0,474
12	2.9.	16 ¹⁷	63h 30'	20,0	63	13,21	9,41	0,243	0,255		0,393	0,354	0,399	0,377	0,262	0,288	0,293	0,462	0,507	0,495	0,504
13	5.9.	8 ¹⁴	6	20,0	66	13,49	9,58	0,232	0,247	0,184	0,375	0,322	0,373	0,350	0,300	0,291	0,315	0,448	0,561	0,520	0,540
14	6.9.	7 ⁵²	7	19,0	67	13,70	9,76	0,244	0,261	0,194	0,394	0,336	0,377	0,357	0,302	0,295	0,315	0,435	0,547	0,549	0,529
15	7.9.	8 ³⁸	8	19,0	68	13,78	9,82	0,228	0,257	0,182	0,393	0,342	0,406	0,375	0,294	0,291	0,308	0,428	0,544	0,501	0,523
16	8.9.	8 ²⁷	9	19,5	62	13,87	9,85	0,265	0,268	0,233	0,390	0,363	0,408	0,396	0,260	0,295	0,289	0,440	0,521	0,496	0,509
17	9.9.	8 ⁰⁸	10	19,0	62	13,97	9,86	0,266	0,268	0,241	0,401	0,373	0,421	0,398	0,261	0,302	0,294	0,455	0,515	0,496	0,505
18	15.9.	9 ⁰⁸	16	20,0	61	14,56	10,29	0,287	0,284	0,253	0,436	0,396	0,471	0,434	0,271	0,304	0,300	0,461	0,521	0,501	0,511
19	20.9.	9 ⁰⁰	21	20,0	63	14,67	10,36	0,286	0,279	0,252	0,434	0,399	0,458	0,428	0,265	0,323	0,296	0,456	0,516	0,494	0,505
20	23.9.	9 ⁰³	24	19,5	62	14,69	10,39	0,294	0,287	0,256	0,436	0,407	0,460	0,435	0,262	0,293	0,293	0,452	0,502	0,473	0,498
21	5.10.		36			15,56	10,98	0,301	0,303	0,241	0,448	0,417	0,478	0,448	0,273	0,306	0,309	0,459	0,536	0,510	0,524
22	12.10.		43			16,75	11,73	0,351	0,331	0,291	0,506	0,477	0,533	0,506	0,286	0,320	0,322	0,502	0,540	0,529	0,535
23	20.10.	15 ⁴⁷	51	19,5	63	17,01	11,89	0,343	0,340	0,279	0,484	0,444	0,502	0,474	0,314	0,326	0,336	0,486	0,577	0,540	0,558
24	3.11.	13 ⁰⁶	65	19,0	53	17,72	12,32	0,361	0,344	0,289	0,535	0,501	0,551	0,525	0,303	0,319	0,331	0,473	0,546	0,528	0,537
25	9.11.	14 ³⁵	71	19,0	54	17,80	12,44	0,361	0,356	0,287	0,503	0,469	0,532	0,502	0,331	0,339	0,343	0,492	0,534	0,554	0,569
26	17.11.	11 ¹⁶	79	18,5	54	18,15	12,60	0,349	0,346	0,291	0,516	0,476	0,535	0,507	0,323	0,359	0,361	0,519	0,530	0,569	0,575
27	23.11.	16 ⁴⁰	85	20,0	55	18,43	12,77	0,292	0,293	0,219	0,519	0,483	0,539	0,512	0,391	0,425	0,423	0,535	0,583	0,637	0,613
28	30.11.	9 ⁴²	92	19,5	51	18,66	12,76	0,299	0,284	0,235	0,539	0,494	0,556	0,525	0,402	0,417	0,431	0,583	0,572	0,623	0,602
29	15.12.	12 ¹²	107	20,0	53	18,76	12,99	0,304	0,291	0,233	0,527	0,485	0,543	0,514	0,418	0,437	0,444	0,603	0,574	0,651	0,618
30	20.12.	15 ⁴¹	112	20,0	54	18,81	13,00	0,301	0,292	0,228	0,527	0,482	0,548	0,515	0,416	0,437	0,445	0,593	0,591	0,652	0,623
31	4.1.67	11 ⁰³	127	19,0	52	18,96	13,09	0,317	0,299	0,239	0,537	0,491	0,548	0,520	0,430	0,448	0,458	0,615	0,634	0,659	0,631
32	12.1.	15 ³³	135	18,0	54	19,34	13,33	0,317	0,306	0,245	0,549	0,497	0,557	0,528	0,434	0,458	0,449	0,618	0,615	0,673	0,644
33	19.1.	13 ⁰³	142	18,5	55	19,23	13,25	0,315	0,311	0,243	0,549	0,488	0,552	0,520	0,433	0,443	0,462	0,612	0,608	0,623	0,635
34	25.1.	13 ³⁹	148	19,0	55	19,62	13,49	0,317	0,313	0,244	0,552	0,494	0,557	0,525	0,443	0,455	0,472	0,614	0,616	0,672	0,645
35	1.2.	15 ³²	155	19,0	55	19,71	13,55	0,324	0,319	0,248	0,557	0,495	0,559	0,528	0,460	0,452	0,467	0,609	0,616	0,665	0,640
36	8.2.	11 ⁰⁰	162	18,0	53	19,69	13,55	0,338	0,320	0,273	0,561	0,509	0,571	0,540	0,409	0,455	0,451	0,616	0,594	0,654	0,623
37	15.2.	14 ¹⁸	169	19,0	55	20,37	13,98	0,351	0,334	0,271	0,589	0,529	0,596	0,563	0,437	0,471	0,470	0,639	0,604	0,668	0,636
38	1.3.	8 ⁵³	181	19,0	53	20,63	14,12	0,365	0,339	0,292	0,588	0,535	0,601	0,568	0,449	0,471	0,458	0,641	0,600	0,663	0,634

Tabelle 12.15

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

I

Herstellungstag: 27.9.1965

Belastungsbeginn am 30.8.1966

lf. Nr.	Da-tum	Uhr-zeit	Be-lastungs-dauer [Tage]	Tem-pera-tur °C	Luft-feuch-tig-keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \times (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0,5 \times (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
39	22.3.67	14 ⁴⁰	202	18,5	58	20,63	14,09	0,337	0,332	0,237	0,556	0,487	0,553	0,520	0,475	0,454	0,481	0,604	0,646	0,676	0,661
40	18.4.	8 ⁰⁰	229	19,7	46	20,59	14,22	0,352	0,353	0,273	0,615	0,536	0,610	0,573	0,385	0,466	0,433	0,653	0,555	0,628	0,592
41	9.5.	9 ³⁰	250	19,5	60	20,78	14,28	0,349	0,354	0,232	0,565	0,483	0,556	0,519	0,485	0,437	0,479	0,595	0,651	0,665	0,658
42	19.5.	15 ²⁰	260	19,8	57	20,88	14,48	0,358	0,353	0,257	0,547	0,476	0,547	0,512	0,463	0,442	0,468	0,592	0,662	0,665	0,664
43	19.6.	10 ²⁵	291	20,0	65	21,12	14,54	0,340	0,341	0,215	0,514	0,428	0,504	0,467	0,502	0,444	0,492	0,584	0,708	0,691	0,694
44	9.8.	14 ⁰⁰	342	19,2	68	21,66	14,74	0,361	0,365	0,225	0,534	0,443	0,524	0,484	0,532	0,457	0,517	0,600	0,722	0,718	0,720
45	1.9.	8 ⁰⁰	365	20,0	65	21,62	14,70	0,358	0,346	0,252	0,530	0,441	0,522	0,482	0,459	0,437	0,475	0,590	0,676	0,672	0,674
46	13.10.	15 ⁴⁵	407	20,7	67	22,03	15,04	0,396	0,410	0,245	0,545	0,539	0,542	0,540	0,550	0,447	0,529	0,595	0,727	0,723	0,725
47	24.10.	7 ⁴⁰	418	20,0	55	22,04	15,09	0,426	0,408	0,268	0,593	0,568	0,544	0,556	0,486	0,440	0,472	0,610	0,672	0,665	0,669
48	24.10.	8 ⁰⁰	418	20,0	55	11,04	7,70	0,229	0,185	0,143	0,179	0,202	0,115	0,158	0,183	0,201	0,202	0,152	0,127	0,121	0,124
49	24.10.	8 ²⁵	418	20,0	55	11,00	7,70	0,210	0,181	0,138	0,171	0,206	0,060	0,133	0,202	0,195	0,196	0,144	0,102	0,124	0,113
		nach Belastungsende																			

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

II
Belastungsbeginn am 30.8.1966

Herstellungstag: 10.2.1965

lf. Nr	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0,5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	30.8.66	14 ²⁹	0,5'	26,0	55	10,38	7,59	0,163	0,106	0,281	0,221	0,163	0,198	0,180	0,166	0,155	0,412	0,293	0,171	0,319	0,245
2	30.8.	16 ²⁰	2h 5'	26,0	55	10,42	7,74	0,168	0,116	0,276	0,237	0,171	0,209	0,194	0,166	0,145	0,414	0,284	0,165	0,309	0,237
3	31.8.	8 ²⁰	13h 5'	21,0	55	11,41	8,24	0,169	0,145	0,289	0,305	0,198	0,240	0,215	0,194	0,109	0,454	0,276	0,171	0,308	0,240
4	31.8.	8 ⁴⁹	13h 50'	21,5	55	11,51	8,33	0,176	0,141	0,295	0,295	0,191	0,235	0,213	0,196	0,120	0,442	0,280	0,177	0,309	0,243
5	31.8.	14 ⁴³	19h 35'	21,0	60	11,67	8,43	0,172	0,131	0,291	0,296	0,195	0,235	0,211	0,201	0,125	0,452	0,287	0,185	0,315	0,250
6	31.8.	16 ³²	22h 50'	17,5	65	11,93	8,63	0,159	0,120	0,231	0,234	0,163	0,219	0,194	0,232	0,152	0,482	0,321	0,217	0,340	0,230
7	1.9.	9 ²⁷	35h 20'	18,5	65	11,68	8,43	0,153	0,125	0,283	0,289	0,162	0,227	0,195	0,228	0,142	0,481	0,296	0,204	0,330	0,273
8	1.9.	16 ⁰⁶	36h 5'	19,0	65	11,66	8,42	0,155	0,116	0,257	0,252	0,145	0,198	0,172	0,218	0,166	0,469	0,319	0,215	0,345	0,230
9	1.9.	16 ³⁸	42h 35'	19,0	65	11,66	8,36	0,157	0,102	0,246	0,242	0,133	0,192	0,163	0,217	0,172	0,459	0,320	0,219	0,343	0,279
10	2.9.	8 ¹⁹	54h 20'	19,0	67	11,58	8,41	0,158	0,100	0,245	0,232	0,143	0,193	0,168	0,220	0,186	0,461	0,324	0,216	0,349	0,233
11	2.9.	11 ¹³	57h 5'	20,0	55	11,73	8,47	0,163	0,131	0,265	0,285	0,168	0,228	0,198	0,216	0,141	0,459	0,291	0,187	0,318	0,254
12	2.9.	16 ²⁰	62h 20'	20,0	63	12,46	8,89	0,176	0,131	0,291	0,281	0,171	0,224	0,198	0,226	0,167	0,488	0,325	0,209	0,352	0,282
13	5.9.	8 ¹⁹	6	20,0	65	12,81	9,11	0,171	0,109	0,253	0,237	0,150	0,204	0,177	0,232	0,221	0,511	0,358	0,234	0,388	0,312
14	6.9.	7 ⁵⁷	7	20,0	67	12,57	9,03	0,170	0,114	0,253	0,243	0,157	0,213	0,185	0,242	0,216	0,486	0,345	0,233	0,369	0,304
15	7.9.	8 ³⁴	8	20,0	67	12,65	9,12	0,168	0,110	0,247	0,240	0,152	0,208	0,181	0,246	0,216	0,491	0,343	0,241	0,375	0,303
16	8.9.	8 ³¹	9	20,0	63	13,03	9,31	0,180	0,130	0,265	0,271	0,147	0,237	0,192	0,245	0,186	0,493	0,337	0,225	0,363	0,278
17	9.9.	8 ⁰⁵	10	19,0	62	13,12	9,32	0,178	0,137	0,273	0,287	0,140	0,241	0,211	0,251	0,200	0,499	0,336	0,227	0,361	0,265
18	15.9.	9 ¹¹	16	19,0	60	13,88	9,89	0,194	0,144	0,294	0,312	0,187	0,249	0,191	0,254	0,209	0,514	0,344	0,233	0,373	0,305
19	20.9.		21			13,86	9,83	0,197	0,141	0,285	0,311	0,180	0,245	0,213	0,261	0,207	0,505	0,342	0,228	0,365	0,297
20	23.9.	9 ⁰⁵	24	19,0	63	13,76	9,80	0,188	0,144	0,293	0,320	0,179	0,244	0,218	0,258	0,205	0,497	0,334	0,221	0,357	0,293
21	5.10.		36			14,67	10,39	0,198	0,138	0,302	0,312	0,178	0,236	0,208	0,286	0,241	0,523	0,366	0,253	0,387	0,320
22	12.10.		43			15,32	10,81	0,214	0,158	0,345	0,363	0,204	0,272	0,238	0,301	0,228	0,540	0,380	0,252	0,383	0,316
23	20.10.	15 ⁴⁷	51	20,0	63	15,54	10,94	0,208	0,149	0,314	0,329	0,191	0,259	0,225	0,320	0,253	0,539	0,379	0,261	0,399	0,330
24	3.11.	13 ¹¹	65	19,0	53	16,87	11,80	0,234	0,163	0,363	0,401	0,212	0,269	0,251	0,342	0,255	0,534	0,373	0,304	0,435	0,369
25	9.11.	14 ⁴⁴	71	19,0	55	16,95	11,86	0,229	0,156	0,334	0,346	0,207	0,277	0,243	0,324	0,304	0,571	0,419	0,291	0,433	0,362
26	17.11.	11 ¹⁸	79	19,0	53	17,34	12,09	0,217	0,148	0,353	0,372	0,202	0,273	0,237	0,345	0,294	0,591	0,433	0,304	0,446	0,375
27	23.11.	16 ⁴³	85	19,0	55	17,57	12,14	0,159	0,088	0,354	0,373	0,142	0,213	0,177	0,416	0,304	0,662	0,499	0,375	0,515	0,446
28	30.11.		92			17,69	12,21	0,158	0,095	0,376	0,406	0,146	0,223	0,185	0,424	0,281	0,667	0,492	0,378	0,511	0,443
29	15.12.	12 ⁴⁸	107	20,0	53	17,85	12,32	0,150	0,076	0,359	0,377	0,131	0,201	0,166	0,427	0,308	0,670	0,514	0,394	0,526	0,456
30	20.12.	12 ⁴⁴	112	19,0	55	17,99	12,39	0,149	0,073	0,356	0,371	0,127	0,200	0,164	0,436	0,322	0,678	0,523	0,392	0,533	0,462
31	4.1.67	11 ⁰⁹	127	19,0	55	18,19	12,53	0,162	0,084	0,373	0,383	0,135	0,211	0,173	0,444	0,331	0,686	0,534	0,393	0,543	0,466
32	12.1.	16 ⁰⁸	135	19,5	55	18,32	12,62	0,157	0,082	0,368	0,381	0,133	0,210	0,172	0,450	0,339	0,689	0,534	0,406	0,546	0,477
33	19.1.	13 ⁰⁸	142	19,0	55	19,87	13,62	0,206	0,111	0,428	0,435	0,175	0,247	0,213	0,468	0,374	0,727	0,578	0,434	0,582	0,509
34	25.1.	13 ⁴⁸	148	19,0	55	19,93	13,66	0,198	0,104	0,417	0,433	0,167	0,241	0,204	0,477	0,373	0,725	0,574	0,432	0,576	0,505
35	1.2.	15 ³⁷	155	19,0	55	19,64	13,48	0,189	0,097	0,397	0,423	0,155	0,234	0,195	0,470	0,369	0,713	0,562	0,419	0,582	0,490
36	8.2.	11 ¹⁰	162	19,0	55	19,54	13,42	0,190	0,113	0,401	0,440	0,165	0,242	0,204	0,462	0,347	0,701	0,541	0,399	0,544	0,473
37	15.2.	15 ²⁵	169	19,0	55	20,18	13,81	0,196	0,111	0,424	0,457	0,163	0,301	0,262	0,478	0,361	0,719	0,563	0,423	0,565	0,495
38	1.3.	9 ⁰⁰	181	19,0	53	20,46	13,95	0,196	0,114	0,417	0,459	0,177	0,250	0,214	0,482	0,364	0,724	0,561	0,411	0,572	0,463

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

II

Herstellungstag: 10.2.1965

Belastungsbeginn am 30.8.1966

lf. Nr.	Da-tum	Uhr-zeit	Be-lastungs-dauer [Tage]	Tem-pera-tur °C	Luft-feuchtig-keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am=0.5}(\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{im=0.5}(\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
38	1.3.67	9 ¹⁵	181	19,0	53	20,46	13,95	0,196	0,114	0,417	0,459	0,177	0,250	0,214	0,482	0,364	0,724	0,561	0,411	0,512	0,462
39	22.3.	14 ⁵⁶	202	18,5	58	20,03	13,68	0,187	0,093	0,381	0,400	0,142	0,223	0,182	0,465	0,396	0,698	0,559	0,418	0,559	0,488
40	18.4.	8 ¹⁰	229	19,7	46	20,05	13,69	0,188	0,132	0,425	0,498	0,179	0,253	0,216	0,447	0,299	0,675	0,501	0,356	0,503	0,468
41	9.5.	9 ³⁵	250	19,5	60	20,03	13,67	0,189	0,092	0,379	0,394	0,132	0,212	0,177	0,442	0,389	0,672	0,546	0,400	0,540	0,470
42	19.5.	15 ²⁵	260	19,8	57	20,21	13,76	0,187	0,103	0,361	0,395	0,149	0,228	0,188	0,445	0,398	0,675	0,537	0,388	0,532	0,460
43	19.6.	10 ³⁰	291	20,0	65	21,67	14,63	0,188	0,072	0,346	0,341	0,118	0,220	0,164	0,490	0,478	0,743	0,604	0,437	0,599	0,513
44	9.8.	14 ¹⁰	342	19,2	68	21,71	14,65	0,183	0,066	0,329	0,326	0,112	0,206	0,159	0,478	0,482	0,715	0,591	0,426	0,582	0,504
45	1.9.	8 ¹⁰	365	20,0	65	21,59	14,57	0,173	0,100	0,335	0,387	0,136	0,223	0,180	0,484	0,436	0,710	0,560	0,391	0,558	0,475
46	13.10.	15 ³⁵	407	20,7	67	21,80	14,69	0,210	0,130	0,345	0,412	0,183	0,262	0,223	0,458	0,410	0,664	0,571	0,400	0,534	0,467
47	18.10.	10 ⁵⁵	412	20,0	55	22,12	14,89	0,215	0,150	0,355	0,417	0,202	0,275	0,238	0,462	0,423	0,688	0,517	0,366	0,522	0,444
48	24.10.	7 ⁴⁰	418	20,0	55	22,35	15,03	0,230	0,144	0,370	0,398	0,193	0,272	0,232	0,456	0,436	0,685	0,535	0,380	0,536	0,456
49	24.10.	8 ³⁵	419	20,0	58	22,07	14,91	0,220	0,150	0,363	0,414	0,202	0,285	0,243	0,464	0,430	0,692	0,522	0,375	0,530	0,453
50	24.10	nach Belastungsende 9 ⁵⁵	419	20,0	58	8,41	5,68	0,027	0,036	-0,002	0,013	0,038	0,070	0,054	0,216	0,211	0,058	-0,028	0,205	0,103	0,154

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

III

Herstellungstag: 24.11.1965

Belastungsbeginn am 30.8.1966

lf. Nr.	Da-tum	Uhr-zeit	Be-lastungs-dauer [Tage]	Tem-pera-tur °C	Luft-feuchtig-keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	$-\epsilon_{a3}$ 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{c1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{c2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{c3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{c4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{c5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{c6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{cm} = 0,5 \cdot (\epsilon_{c5} + \epsilon_{c6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	30.8.66	14 ⁴⁷	0,5'	26,0	55	7,82	6,67	0,052	0,054	0,026	0,049	0,006	0,085	0,044	0,284	0,256	0,775	0,292	0,292	0,255	0,269
2	30.8.	16 ²²	1h 50'	26,0	53	8,17	6,88	0,060	0,049	0,220	0,053	0,014	0,090	0,052	0,282	0,250	0,776	0,287	0,290	0,240	0,266
3	31.8.	8 ²³	13h 35'	22,0	55	8,94	7,32	0,080	0,091	0,228	0,071	0,006	0,130	0,068	0,306	0,267	0,842	0,319	0,295	0,235	0,265
4	31.8.	8 ⁵²	14h 5'	22,0	55	8,95	7,33	0,077	0,086	0,207	0,071	0,021	0,122	0,072	0,304	0,270	0,802	0,320	0,300	0,242	0,272
5	31.8.	14 ⁴⁸	20h 5'	21,0	60	9,10	7,23	0,073	0,081	0,215	0,069	0,017	0,119	0,068	0,317	0,270	0,813	0,326	0,308	0,248	0,278
6	31.8.	16 ⁵⁵	22h 20'	21,0	60	9,26	7,54	0,054	0,064	0,227	0,052	0,005	0,102	0,053	0,346	0,299	0,839	0,348	0,324	0,276	0,300
7	1.9.	9 ³³	34h 50'	19,0	63	9,27	7,50	0,017	0,069	0,253	0,050	-0,009	0,111	0,060	0,343	0,301	0,864	0,346	0,339	0,269	0,305
8	1.9.	16 ⁰⁸	41h 20'	19,0	65	9,29	7,57	0,031	0,048	0,264	0,034	-0,012	0,077	0,043	0,365	0,310	0,870	0,350	0,343	0,300	0,322
9	1.9.	16 ⁴⁴	41h 50'	19,0	65	9,23	7,48	0,032	0,043	0,246	0,037	-0,008	0,076	0,042	0,355	0,311	0,843	0,352	0,348	0,300	0,325
10	2.9.	10 ⁴⁶	56h 5'	20,0	60	9,62	7,69	0,064	0,084	0,224	0,062	0,002	0,019	0,010	0,352	0,302	0,843	0,345	0,346	0,266	0,306
11	2.9.	11 ¹⁶	56h 35'	20,0	58	9,70	7,73	0,064	0,088	0,233	0,065	0,001	0,015	0,013	0,350	0,310	0,870	0,359	0,352	0,276	0,315
12	2.9.	16 ²⁸	66h 35'	20,0	60	10,19	7,88	0,059	0,076	0,237	0,056	0,003	0,106	0,054	0,358	0,323	0,883	0,370	0,365	0,288	0,330
13	5.9.	8 ²³	6	20,0	65	10,22	8,04	0,031	0,052	0,262	0,036	-0,013	0,072	0,042	0,393	0,350	0,931	0,389	0,412	0,363	0,366
14	6.9.	8 ⁰⁴	7	19,0	67	10,47	8,16	0,036	0,060	0,248	0,032	-0,009	0,078	0,047	0,393	0,352	0,892	0,390	0,421	0,334	0,378
15	7.9.	8 ³⁸	8	20,0	67	10,67	8,24	0,031	0,059	0,256	0,030	-0,010	0,081	0,046	0,407	0,359	0,914	0,390	0,425	0,342	0,382
16	8.9.	8 ³⁶	9	19,5	63	10,65	8,29	0,054	0,075	0,233	0,035	0,001	0,108	0,059	0,384	0,345	0,878	0,378	0,408	0,320	0,366
17	9.9.	8 ⁰⁸	10	19,0	63	10,77	8,28	0,035	0,079	0,227	0,033	0,002	0,113	0,058	0,390	0,348	0,889	0,382	0,408	0,320	0,366
18	15.9.	9 ¹⁴	16	19,0	60	11,21	8,60	0,061	0,085	0,218	0,053	0,005	0,116	0,061	0,400	0,357	0,898	0,393	0,417	0,328	0,372
19	20.9.		21			11,59	8,67	0,061	0,088	0,223	0,065	0,005	0,125	0,065	0,410	0,370	0,924	0,399	0,434	0,339	0,367
20	23.9.	9 ⁰⁸	24	19,0	63	11,81	8,72	0,065	0,090	0,226	0,069	0,007	0,139	0,067	0,417	0,372	0,931	0,408	0,435	0,341	0,395
21	5.10.		36			12,24	9,25	0,054	0,083	0,225	0,058	-0,001	0,109	0,054	0,442	0,389	0,940	0,485	0,456	0,372	0,415
22	12.10.		43			12,67	9,60	0,082	0,111	0,185	0,084	0,019	0,144	0,082	0,446	0,395	0,946	0,440	0,459	0,366	0,412
23	20.10.	15 ⁵⁴	51	20,0	63	13,28	9,83	0,067	0,098	0,197	0,075	0,013	0,128	0,071	0,468	0,422	0,969	0,456	0,495	0,395	0,446
24	3.11.	13 ¹⁸	65	19,0	55	14,00	10,17	0,075	0,112	0,189	0,086	0,018	0,145	0,082	0,482	0,425	0,986	0,460	0,494	0,411	0,453
25	9.11.	15 ³⁰	71	20,0	53	14,13	10,32	0,067	0,099	0,189	0,076	0,013	0,128	0,071	0,495	0,452	0,996	0,483	0,532	0,422	0,478
26	17.11.	11 ²²	79	19,0	55	14,46	10,51	0,061	0,092	0,193	0,068	0,001	0,126	0,065	0,514	0,473	1,017	0,506	0,528	0,428	0,483
27	23.11.	16 ⁴⁶	85	19,0	55	14,65	10,62	-0,001	0,032	0,252	0,080	-0,060	0,065	0,002	0,594	0,538	1,086	0,571	0,542	0,505	0,524
28	30.11.		92			14,85	10,71	0,002	0,038	0,249	0,014	-0,058	0,076	0,009	0,589	0,538	1,098	0,573	0,523	0,506	0,515
29	15.12.	12 ⁵⁵	107	20,0	53	15,13	10,83	-0,007	0,024	0,252	0,000	-0,067	0,058	-0,005	0,607	0,563	1,111	0,597	0,553	0,531	0,544
30	20.12.	12 ⁴⁹	112	20,0	55	15,14	10,84	0,016	0,019	0,258	0,005	-0,074	0,049	-0,012	0,616	0,567	1,117	0,599	0,554	0,538	0,552
31	4.1.67	11 ¹⁶	127	19,0	55	15,38	11,08	0,025	0,023	0,267	0,012	-0,066	0,057	-0,005	0,623	0,574	1,125	0,604	0,571	0,572	0,553
32	12.1.	16 ²³	135	19,5	55	15,70	11,25	0,021	0,024	0,266	0,013	-0,068	0,055	-0,006	0,638	0,589	1,139	0,619	0,588	0,556	0,572
33	19.1.	13 ¹¹	142	19,0	55	15,68	11,25	0,023	0,027	0,254	0,018	-0,070	0,057	-0,006	0,642	0,586	1,138	0,617	0,589	0,556	0,573
34	25.1.	13 ⁵⁶	148	19,0	55	16,21	11,41	0,021	0,029	0,256	0,019	-0,069	0,060	-0,004	0,665	0,587	1,141	0,619	0,591	0,557	0,575
35	1.2.	15 ⁴¹	155	19,0	55	16,29	11,45	0,023	0,028	0,263	0,020	-0,070	0,061	-0,004	0,661	0,604	1,158	0,635	0,609	0,571	0,591
36	8.2.	11 ²⁰	162	18,5	55	16,35	11,47	0,041	0,047	0,269	0,035	-0,059	0,083	0,024	0,642	0,587	1,144	0,619	0,590	0,551	0,571
37	15.2.	16 ³⁰	169	19,0	55	16,80	11,88	0,039	0,046	0,219	0,036	-0,058	0,079	0,010	0,659	0,601	1,157	0,638	0,590	0,571	0,560
38	1.3.	9 ⁰⁷	181	19,0	53	17,14	12,08	0,045	0,054	0,219	0,042	-0,056	0,088	0,011	0,662	0,606	1,163	0,641	0,608	0,570	0,569

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

III

Herstellungstag: 24.11.1965

Belastungsbeginn am 30.8.1966

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	$-\epsilon_{a3}$ 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am}=0,5 \times$ $(\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{im}=0,5 \times$ $(\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
39	22.3.67	14 ⁵⁷	202	18,5	58	17,51	12,29	0,024	0,042	0,231	0,024	-0,066	0,062	-0,002	0,690	0,636	1,188	0,661	0,653	0,606	0,629
40	18.4.	8 ¹²	229	19,7	46	17,86	12,53	0,067	0,101	0,164	0,069	-0,036	0,126	0,045	0,643	0,588	1,143	0,632	0,569	0,539	0,545
41	19.5.	15 ²⁶	260	19,8	57	18,41	12,85	0,039	0,062	0,204	0,041	-0,053	0,080	0,011	0,706	0,653	1,230	0,671	0,700	0,618	0,659
42	19.6.	10 ⁴⁰	291	20,0	65	18,89	13,00	-0,011	0,040	0,240	0,014	-0,077	0,035	-0,021	0,722	0,675	1,233	0,680	0,729	0,649	0,689
43	9.8.	14 ¹⁵	342	19,2	68	19,46	13,56	-0,012	0,053	0,230	0,017	-0,076	0,036	-0,020	0,725	0,676	1,239	0,676	0,737	0,647	0,692
44	1.9.	8 ²²	365	20,0	65	20,34	13,94	0,025	0,087	0,216	0,033	-0,074	0,071	-0,002	0,738	0,688	1,287	0,692	0,711	0,645	0,673
45	13.10.	16 ⁰⁰	407	20,7	67	20,20	13,80	0,003	0,069	0,203	0,028	-0,063	0,041	-0,010	0,735	0,697	1,249	0,683	0,636	0,554	0,595
46	31.10.	16 ³⁸	426	20,0	65	19,69	13,58	0,055	0,113	0,118	0,090	-0,015	0,121	0,053	0,701	0,586	1,195	0,642	0,628	0,605	0,616
47	19.12.	8 ²⁷	475	20,0	62	20,45	13,57	0,047	0,103	0,112	0,067	-0,040	0,105	0,033	0,751	0,694	1,248	0,701	0,700	0,660	0,680
48	3.1.68	11 ³⁵	489	20,0	62	20,89	14,03	0,049	0,113	0,125	0,068	-0,036	0,105	0,035	0,763	0,711	1,261	0,715	0,716	0,672	0,694
49	16.1.68	9 ¹⁰	502	20,0	65	21,09	14,33	0,054	0,121	0,104	0,077	-0,031	0,112	0,038	0,768	0,709	1,263	0,721	0,713	0,678	0,696
50	19.2.	15 ⁵⁵	536	19,0	61	21,86	14,76	0,014	0,065	0,124	0,009	-0,112	0,071	-0,018	0,854	0,782	1,354	0,848	0,684	0,740	0,712
51	21.2.	13 ⁰⁰	538	19,5	63	21,89	14,77	-0,032	0,039	0,157	-0,004	-0,112	0,024	-0,044	0,877	0,806	1,366	0,827	0,717	0,784	0,751
52	11.3.	15 ³⁵	557	20,0	65	21,93	14,81	0,004	0,066	0,153	0,016	-0,100	0,064	-0,018	0,844	0,785	1,344	0,804	0,715	0,743	0,729
53	17.4.	11 ¹⁵	595	20,0	65	22,70	15,21	0,049	0,103	0,067	0,049	-0,075	0,107	0,016	0,848	0,776	1,348	0,839	0,701	0,736	0,719
54	19.4.	7 ⁴⁰	598	20,0	65	22,71	15,21	0,044	0,098	0,074	0,044	-0,078	0,101	0,011	0,857	0,784	1,356	0,841	0,706	0,744	0,725
55	19.4.	8 ⁰⁵	nach Belastungsende	20,0	65	10,40	6,28	-0,040	0,018	-0,012	-0,061	-0,111	-0,019	-0,065	0,480	0,448	-	0,434	0,296	0,393	0,345

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

IV

Herstellungstag: 20. 1. 1966

Belastungsbeginn am 30.8.1966

lf. Nr.	Da-tum	Uhr-zeit	Be-lastungs-dauer [Tage]	Tem-pera-tur °C	Luft-feuchtig-keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am+0.5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{(m+0.5)}$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	30.8.66	14 ⁰⁰	0,5'	26,0	55	13,48	10,23	0,116	0,089	0,117	0,139	0,059	0,142	0,098	0,461	0,384	0,494	0,469	0,707	0,388	0,548
2	30.8.	16 ²⁵	2h 25'	26,0	55	14,18	10,63	0,127	0,092	0,119	0,145	0,064	0,142	0,103	0,472	0,425	0,530	0,478	0,714	0,302	0,508
3	31.8.	8 ²⁵	14h 25'	22,0	65	14,85	11,11	0,143	0,104	0,125	0,168	0,079	0,168	0,122	0,516	0,427	0,531	0,514	0,742	0,412	0,568
4	31.8.	8 ⁵⁶	15h 0'	22,0	55	15,38	11,39	0,145	0,106	0,129	0,171	0,084	0,167	0,126	0,525	0,436	0,537	0,523	0,749	0,427	0,590
5	31.8.	14 ⁵²	21h 0'	21,0	55	15,59	11,53	0,140	0,101	0,124	0,167	0,082	0,166	0,124	0,533	0,442	0,548	0,532	0,759	0,435	0,578
6	31.8.	16 ⁵⁸	23h 0'	20,0	60	15,83	11,62	0,124	0,092	0,111	0,155	0,069	0,158	0,113	0,542	0,472	0,615	0,553	0,791	0,455	0,624
7	1.9.	9 ²³	35h 25'	18,5	63	16,04	11,69	0,124	0,084	0,106	0,157	0,067	0,150	0,109	0,566	0,470	0,596	0,570	0,798	0,468	0,634
8	1.9.	16 ¹⁰	41h 10'	19,0	65	16,07	11,81	0,107	0,080	0,100	0,143	0,052	0,140	0,095	0,563	0,474	0,606	0,572	0,816	0,472	0,645
9	1.9.	16 ⁴⁵	41h 45'	19,0	65	15,73	11,82	0,106	0,077	0,093	0,136	0,052	0,135	0,090	0,548	0,462	0,592	0,557	0,792	0,462	0,623
10	2.9.	8 ²³	43h 20'	19,0	67	15,77	11,70	0,107	0,079	0,100	0,136	0,055	0,136	0,095	0,553	0,458	0,629	0,563	0,794	0,466	0,630
11	2.9.	11 ²⁰	46h 20'	19,5	57	15,94	11,79	0,133	0,081	0,114	0,165	0,079	0,156	0,117	0,547	0,454	0,594	0,556	0,763	0,455	0,612
12	2.9.	16 ²⁸	51h 30'	20,0	60	16,29	11,96	0,125	0,088	0,110	0,157	0,068	0,155	0,109	0,562	0,470	0,619	0,592	0,800	0,482	0,636
13	5.9.	8 ²⁷	6	20,0	65	16,70	12,23	0,109	0,091	0,099	0,142	0,053	0,136	0,095	0,593	0,471	0,654	0,604	0,846	0,492	0,680
14	6.9.	8 ⁰⁶	7	19,0	67	16,25	12,53	0,120	0,089	0,107	0,156	0,069	0,150	0,115	0,598	0,496	0,671	0,617	0,842	0,513	0,679
15	7.9.	8 ⁴¹	8	19,0	67	17,57	12,75	0,121	0,089	0,106	0,157	0,068	0,148	0,109	0,609	0,504	0,685	0,623	0,849	0,523	0,686
16	8.9.	8 ⁴⁰	9	20,0	65	17,62	12,80	0,137	0,098	0,117	0,172	0,085	0,163	0,124	0,602	0,501	0,661	0,623	0,837	0,515	0,676
17	9.9.	8 ⁴²	10	19,0	67	17,78	12,90	0,139	0,098	0,119	0,168	0,089	0,167	0,129	0,615	0,509	0,667	0,629	0,843	0,519	0,682
18	15.9.	9 ¹⁸	16	19,0	60	18,34	13,25	0,142	0,103	0,123	0,182	0,095	0,173	0,134	0,630	0,514	0,676	0,643	0,853	0,531	0,694
19	20.9.		21			19,11	13,62	0,147	0,105	0,127	0,190	0,099	0,173	0,136	0,658	0,543	0,717	0,672	0,890	0,550	0,724
20	23.9.	9 ¹¹	24	19,0	63	19,23	13,80	0,150	0,106	0,127	0,191	0,100	0,182	0,141	0,657	0,571	0,714	0,671	0,886	0,554	0,721
21	5.10.		36			19,76	14,14	0,142	0,098	0,120	0,182	0,099	0,178	0,139	0,676	0,592	0,722	0,698	0,907	0,577	0,744
22	12.10.		43			20,33	14,49	0,162	0,115	0,137	0,206	0,119	0,196	0,157	0,684	0,598	0,715	0,694	0,919	0,581	0,747
23	20.10.	16 ⁵³	51	20,0	63	20,89	14,80	0,154	0,109	0,131	0,199	0,114	0,189	0,152	0,702	0,609	0,742	0,726	0,934	0,604	0,770
24	3.11.	13 ²⁵	65	19,0	55	23,19	16,26	0,192	0,136	0,155	0,252	0,159	0,232	0,196	0,770	0,633	0,808	0,763	1,014	0,668	0,841
25	9.11.	14 ⁵⁵	71	19,0	55	23,54	16,64	0,203	0,128	0,161	0,244	0,160	0,228	0,194	0,743	0,662	0,825	0,808	1,031	0,692	0,861
26	17.11.	11 ²⁵	79	19,0	55	24,22	16,85	0,185	0,120	0,145	0,242	0,161	0,227	0,203	0,777	0,683	0,853	0,808	1,062	0,726	0,900
27	23.11.	16 ⁵⁰	85	20,0	55	24,57	17,05	0,125	0,081	0,087	0,187	0,104	0,172	0,110	0,847	0,767	0,925	0,841	1,125	0,788	0,969
28	30.11.		92			24,98	17,29	0,131	0,063	0,091	0,195	0,112	0,179	0,146	0,860	0,772	0,937	0,855	1,149	0,806	1,013
29	15.12.	13 ⁰¹	107	20,0	50	25,52	17,66	0,126	0,053	0,084	0,190	0,097	0,174	0,136	0,931	0,806	0,962	0,885	1,176	0,838	1,036
30	20.12.	12 ⁵³	112	19,0	53	25,77	17,80	0,120	0,053	0,080	0,186	0,105	0,172	0,140	0,925	0,817	0,979	0,898	1,173	0,852	1,023
31	4.1.67	11 ²²	127	19,0	55	26,02	18,00	0,125	0,058	0,085	0,192	0,109	0,175	0,142	0,954	0,818	0,980	0,900	1,010	0,859	1,023
32	12.1.	16 ²⁸	135	19,5	53	26,62	18,33	0,127	0,057	0,129	0,137	0,116	0,183	0,150	0,974	0,851	1,008	1,032	1,266	0,974	1,052
33	19.1.	13 ¹⁶	142	19,0	55	26,78	18,43	0,159	0,068	0,089	0,209	0,133	0,191	0,163	0,972	0,843	0,998	1,034	1,216	0,976	1,049
34	25.1.		148			28,03	18,75	0,142	0,071	0,094	0,205	0,136	0,198	0,167	0,982	0,861	1,013	1,049	1,237	0,990	1,062
35	1.2.	14 ⁴²	155	19,0	55	28,24	18,89	0,141	0,067	0,093	0,215	0,128	0,197	0,166	0,988	0,866	1,019	1,056	1,244	0,993	1,069
36	8.2.	11 ³⁰	162	18,5	53	28,35	18,97	0,152	0,079	0,097	0,226	0,142	0,206	0,178	0,993	0,863	1,003	1,051	1,229	0,966	1,059
37	15.2.	16 ³⁵	169	19,0	55	29,27	19,54	0,161	0,087	0,108	0,242	0,167	0,222	0,195	1,007	0,902	1,027	1,074	1,262	0,971	1,089
38	1.3.	9 ¹³	183	19,0	53	29,76	19,85	0,174	0,096	0,119	0,252	0,177	0,231	0,205	1,009	0,895	1,022	1,084	1,253	0,972	1,097

Tabelle

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

IV

Herstellungstag: 20.1.1966

Belastungsbeginn am 30.8.1966

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am=0,5x}$ $(\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i1}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i2}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i3}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i4}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i5}$ 10^{-3}	$-\epsilon_{i6}$ 10^{-3}	$\epsilon_{im=0,5x}$ $(\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
39	22.3.67	15 ⁰⁴	202	18,5	58	30,41	20,22	0,159	0,084	0,104	0,239	0,163	0,219	0,191	1,031	0,912	1,056	1,111	1,299	0,942	1,120
40	18.4.	8 ¹⁶	229	19,7	46	31,21	20,03	0,204	0,116	0,144	0,287	0,213	0,268	0,241	1,035	0,923	1,019	1,106	1,268	0,923	1,095
41	19.5.	14 ³¹	260	19,8	57	32,35	21,42	0,191	0,110	0,127	0,276	0,194	0,253	0,223	1,055	0,934	1,089	1,156	1,330	0,964	1,147
42	19.6.	10 ⁴⁶	291	20,0	65	34,20	22,90	0,181	0,102	0,102	0,257	0,185	0,252	0,218	1,117	0,979	0,989	1,228	1,420	1,030	1,225
43	9.8.	14 ²⁰	342	19,2	68	35,80	23,32	0,195	0,104	0,104	0,273	0,200	0,262	0,231	1,147	1,007	1,013	1,262	1,450	1,057	1,253
44	1.9.	8 ³⁰	365	20,0	65	35,90	23,57	0,210	0,120	0,119	0,291	0,216	0,273	0,244	1,158	0,989	0,989	1,255	1,427	1,048	1,237
45	13.10.	16 ⁰²	407	20,7	67	34,64	22,76	0,207	0,125	0,122	0,292	0,220	0,277	0,248	1,092	0,942	0,975	1,194	1,378	1,006	1,192
46	31.10.	16 ³⁵	425	20,0	65	35,30	23,22	0,270	0,179	0,193	0,362	0,278	0,349	0,313	1,090	0,948	1,068	1,193	1,373	0,991	1,132
47	19.12.	8 ³⁰	475	20,0	62	35,69	23,49	0,234	0,137	0,154	0,325	0,245	0,302	0,274	1,130	0,998	1,046	1,250	1,407	1,043	1,225
48	3.1.68	11 ⁴⁶	489	20,0	62	36,28	23,84	0,241	0,141	0,177	0,327	0,256	0,310	0,283	1,145	1,012	1,070	1,271	1,413	1,060	1,236
49	16.1.	9 ¹⁰	502	20,0	65	36,34	23,89	0,242	0,139	0,155	0,332	0,267	0,309	0,288	1,144	1,019	1,076	1,262	1,407	1,055	1,231
50	19.2.	16 ⁰⁰	536	19,0	61	36,99	24,34	0,165	0,045	0,082	0,257	0,194	0,228	0,211	1,289	1,204	1,129	1,381	1,502	1,154	1,328
51	21.2.	13 ⁰⁵	538	19,5	63	37,16	24,43	0,166	0,061	0,072	0,252	0,187	0,232	0,210	1,257	1,135	1,151	1,363	1,519	1,155	1,337
52	11.3.	15 ⁰⁰	556	20,0	65	37,35	24,57	0,188	0,077	0,097	0,278	0,212	0,249	0,231	1,240	1,120	1,146	1,360	1,483	1,141	1,312
53	18.4.	11 ²⁰	594	20,0	65	37,85	24,85	0,209	0,085	0,117	0,301	0,253	0,267	0,260	1,275	1,187	1,048	1,369	1,489	1,201	1,345
54	18.4.	11 ⁴⁰	594	20,0	65	16,37	10,06	0,048	-0,029	0,007	0,114	0,071	0,067	0,069	0,685	0,511	0,535	-	-	0,623	0,656

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

V

Belastungsbeginn am 18. 12. 1967

Herstellungstag: 13. 9. 1967

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0,5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{i7} = 0,5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	18.12.67	15 ²⁵	0.00	20	62																
1	"	15 ⁵⁵	0.02	20	62	2.64	2.03	-0.002	-0.001	+0.001	-0.003	0.000	-0.001	0.000	-0.166	-0.167	-0.171	-0.171	-0.175	-0.198	-0.186
2	"	17 ⁰⁰	0.06	20	62	2.66	2.03	-0.004	-0.004	+0.001	-0.006	-0.001	-0.005	-0.003	-0.174	-0.175	-0.179	-0.177	-0.179	-0.201	-0.190
3	19.12.	10 ³⁰	0.76	20,2	64	3.54	3.05	-0.003	-0.004	+0.001	-0.007	-0.001	-0.008	-0.005	-0.111	-0.187	-0.196	-0.195	-0.200	-0.231	-0.215
4	20.12.	16 ¹⁸	2	20,2	64	3.33	2.49	-0.003	-0.013	+0.002	-0.013	-0.008	-0.015	-0.012	-0.200	-0.206	-0.211	-0.217	-0.216	-0.249	-0.232
5	21.12.	16 ³⁵	3	20,2	64	3.30	2.33	-0.003	-0.018	+0.005	-0.002	-0.005	-0.008	-0.007	-0.198	-0.206	-0.212	-0.216	-0.216	-0.252	-0.234
6	22.12.	15 ³⁰	4	20	63	3.39	2.40	-0.004	-0.022	+0.004	-0.012	-0.013	-0.021	-0.020	-0.203	-0.221	-0.213	-0.231	-0.228	-0.273	-0.250
7	26.12.	11 ³⁰	8	19,5	63	3.61	2.56	-0.008	-0.028	-0.007	-0.011	-0.024	-0.026	-0.025	-0.223	-0.240	-0.241	-0.248	-0.244	-0.267	-0.266
8	3.1.68	11 ⁰⁸	16	20	65	3.93	2.78	-0.020	-0.031	-0.006	-0.006	-0.024	-0.026	-0.025	-0.235	-0.255	-0.257	-0.254	-0.259	-0.305	-0.282
9	9.1.	11 ⁰⁰	22	20,1	55	4.06	2.84	-0.033	-0.009	-0.026	-0.015	-0.002	-0.016	-0.009	-0.253	-0.244	-0.266	-0.247	-0.253	-0.231	-0.274
10	12.1.	14 ⁵⁰	25	20	50	4.20	2.95	-0.033	+0.001	-0.027	-0.019	+0.018	-0.004	+0.007	-0.263	-0.229	-0.262	-0.231	-0.254	-0.277	-0.266
11	16.1.	9 ⁰⁵	29	18,5	65	4.30	3.00	-0.029	-0.033	-0.016	-0.024	-0.026	-0.041	-0.034	-0.257	-0.269	-0.274	-0.279	-0.291	-0.325	-0.303
12	22.1.	10 ⁴⁵	35	19	64	4.50	3.12	-0.029	-0.036	-0.014	-0.012	-0.031	-0.037	-0.034	-0.258	-0.280	-0.280	-0.287	-0.295	-0.334	-0.310
13	28.1.	16 ²⁷	41	20	65	4.65	3.18	-0.032	-0.040	-0.014	-0.014	-0.036	-0.041	-0.038	-0.264	-0.291	-0.291	-0.299	-0.295	-0.345	-0.320
14	21.2.	13 ⁰⁰	65	20	67	5.12	3.45	-0.037	-0.041	-0.020	-0.043	-0.037	-0.063	-0.050	-0.297	-0.316	-0.317	-0.328	-0.333	-0.378	-0.356
15	11.3.	15 ³⁰	84	18,5	60	5.36	3.58	-0.081	-0.056	-0.063	-0.040	-0.047	-0.061	-0.054	-0.346	-0.346	-0.366	-0.348	-0.355	-0.400	-0.378
16	17.4.	11 ¹⁰	121	20	40	6.11	3.83	-0.080	-0.019	-0.073	-0.077	-0.011	-0.055	-0.033	-0.384	-0.336	-0.375	-0.338	-0.368	-0.336	-0.382
17	25.4.	15 ⁰⁵	129	21	55	6.20	3.58	-0.062	-0.041	-0.048	-0.054	-0.028	-0.064	-0.046	-0.363	-0.359	-0.368	-0.369	-0.376	-0.413	-0.399
18	8.5.	8 ³⁰	142	20,5	55	6.35	3.43	-0.077	-0.037	-0.061	-0.066	-0.037	-0.063	-0.050	-0.369	-0.360	-0.392	-0.372	-0.390	-0.421	-0.400
19	24.5.	14 ⁵⁰	158	20	61	6.60	4.05	-0.004	+0.012	+0.043	+0.043	+0.011	+0.002	+0.007	-0.349	-0.382	-0.402	-0.392	-0.394	-0.445	-0.420
20	30.5.	10 ⁰⁵	164	20	62	6.72	4.15	+0.018	+0.031	+0.075	+0.053	+0.031	+0.025	+0.028	-0.344	-0.336	-0.407	-0.337	-0.400	-0.451	-0.426
21	5.6.	10 ⁰⁷	170	20	63	6.81	4.29	+0.042	+0.056	+0.106	+0.083	+0.056	+0.049	+0.053	-0.342	-0.381	-0.412	-0.403	-0.406	-0.458	-0.432
22	13.6.	13 ⁰⁷	177	20	62	6.92	4.36	+0.067	+0.080	+0.133	+0.109	+0.078	+0.072	+0.075	-0.341	-0.397	-0.415	-0.408	-0.410	-0.464	-0.437
23	25.6.	9 ¹⁵	189	20	62	6.95	4.52	+0.090	+0.101	+0.167	+0.136	+0.094	+0.091	+0.093	-0.351	-0.416	-0.436	-0.429	-0.432	-0.484	-0.458
24	11.7.	7 ³⁰	205	20,5	63	7.16	4.74	+0.133	+0.147	+0.223	+0.191	+0.142	+0.137	+0.140	-0.343	-0.415	-0.435	-0.426	-0.428	-0.484	-0.456
25	15.7.	11 ⁴⁹	209	20	65	7.27	4.63	+0.144	+0.153	+0.223	+0.196	+0.149	+0.147	+0.148	-0.347	-0.422	-0.441	-0.435	-0.433	-0.491	-0.462
26	19.8.	15 ⁰⁷	244	20	62	7.59	4.74	+0.194	+0.207	+0.284	+0.257	+0.193	+0.191	+0.192	-0.348	-0.429	-0.448	-0.440	-0.446	-0.498	-0.472
27	27.8.	8 ⁰⁵	252	20,5	62	7.67	4.95	+0.193	+0.204	+0.289	+0.257	+0.195	+0.188	+0.192	-0.363	-0.448	-0.467	-0.458	-0.457	-0.507	-0.482

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

V
Belastungsbeginn am 18. 12. 1967

Herstellungstag: 13. 9. 1967

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0,5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
28	27.9.68	9 ⁵⁰	283	20	62	8,06	5,14	+0.238	+0.243	+0.335	+0.305	+0.240	+0.239	+0.240	-0.354	-0.442	-0.457	-0.449	-0.452	-0.508	-0.480
29	31.10.	11 ¹⁰	317	20	65	8,59	5,38	+0.265	+0.271	+0.366	+0.332	+0.267	+0.266	+0.266	-0.365	-0.457	-0.474	-0.466	-0.468	-0.526	-0.497
30	13.11.	7 ⁴⁵	330	20,5	60	8,76	5,45	+0.299	+0.301	+0.406	+0.363	+0.302	+0.307	+0.304	-0.342	-0.444	-0.458	-0.448	-0.448	-0.511	-0.480
31	23.12.	14 ⁴⁵	370	20	65	8,81	5,52	+0.269	+0.260	+0.373	+0.335	+0.228	+0.315	+0.272	-0.393	-0.514	-0.528	-0.519	-0.558	-0.535	-0.546
32	27.1.69	10 ²⁵	406	20	65	8,86	5,58	+0.273	+0.275	+0.379	+0.342	+0.284	+0.331	+0.283	-0.399	-0.511	-0.519	-0.517	-0.550	-0.527	-0.539
33	3.3.	10 ⁴⁰	441	20	65	9,06	5,70	+0.324	+0.334	+0.427	+0.385	+0.305	+0.363	+0.334	-0.364	-0.475	-0.481	-0.480	-0.490	-0.511	-0.501
34	25.3.	11 ⁴³	463	20	65	9,14	5,75	+0.277	+0.275	+0.380	+0.345	+0.242	+0.325	+0.284	-0.411	-0.532	-0.537	-0.535	-0.556	-0.555	-0.556
35	29.4.	8 ¹⁰	498	20	65	9,27	5,81	+0.297	+0.297	+0.404	+0.365	+0.267	+0.349	+0.308	-0.398	-0.519	-0.524	-0.523	-0.535	-0.544	-0.540
36	10.6.	9 ⁴⁵	540	20	65	9,30	5,83	+0.280	+0.277	+0.386	+0.347	+0.255	+0.343	+0.299	-0.423	-0.551	-0.553	-0.552	-0.556	-0.581	-0.569
37	10.6	11 ³⁵	540	20	65	6,70	4,20	+0.274	+0.267	+0.373	+0.335	+0.247	+0.298	+0.273	-0.247	-0.374	-0.370	-0.373	-0.362	-0.391	-0.377

x) nach Belastungsende

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

Herstellungstag: 2.10.1967

VI
Belastungsbeginn am 18.12.1967

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	18.12.67	11 ²⁰	0.00	20	62																
1	"	11 ³⁸	0.01	20	62	11.42	7.94	+0.087	+0.123	+0.179	+0.120	+0.096	+0.168	+0.132	-0.457	-0.475	-0.504	-0.523	-0.596	-0.480	-0.538
2	"	14 ³⁵	0.14	20	62	13.16	9.22	+0.114	+0.164	+0.261	+0.155	+0.136	+0.198	+0.167	-0.525	-0.539	-0.570	-0.595	-0.675	-0.544	-0.610
3	"	16 ⁵⁰	0.23	20	62	13.44	9.32	+0.107	+0.161	+0.258	+0.151	+0.131	+0.191	+0.161	-0.544	-0.558	-0.588	-0.610	-0.691	-0.557	-0.624
4	19.12.	8 ³³	0.89	20,2	64	14.68	10.48	+0.099	+0.163	+0.290	+0.149	+0.135	+0.192	+0.164	-0.597	-0.617	-0.645	-0.670	-0.753	-0.616	-0.685
5	20.12.	16 ¹⁵	2	20,2	64	15.91	11.36	+0.131	+0.193	+0.314	+0.184	+0.174	+0.228	+0.201	-0.656	-0.654	-0.692	-0.709	-0.803	-0.661	-0.732
6	21.12.	16 ³⁰	3	20,2	64	16.59	11.84	+0.143	+0.204	+0.337	+0.196	+0.191	+0.242	+0.217	-0.671	-0.674	-0.708	-0.726	-0.824	-0.677	-0.750
7	22.12.	15 ²⁵	4	20.	63	16.99	12.12	+0.146	+0.205	+0.331	+0.199	+0.201	+0.249	+0.225	-0.703	-0.691	-0.731	-0.741	-0.846	-0.693	-0.772
8	26.12.	11 ⁴⁰	8	19,5	63	18.21	13.00	+0.149	+0.211	+0.361	+0.204	+0.209	+0.252	+0.231	-0.746	-0.740	-0.782	-0.793	-0.897	-0.745	-0.821
9	3.1.68	11 ⁰⁵	16	20	65	19.75	14.12	+0.161	+0.227	+0.403	+0.222	+0.234	+0.276	+0.255	-0.802	-0.793	-0.840	-0.845	-0.955	-0.798	-0.877
10	9.1.	11 ⁰⁰	22	20,1	55	21.24	15.21	+0.125	+0.237	+0.504	+0.222	+0.223	+0.255	+0.239	-0.805	-0.840	-0.882	-0.919	-0.993	-0.846	-0.920
11	12.1.	14 ⁵⁰	25	20	50	22.10	15.84	+0.112	+0.253	+0.565	+0.231	+0.218	+0.241	+0.230	-0.801	-0.854	-0.896	-0.953	-1.002	-0.865	-0.934
12	16.1.	9 ⁰⁰	29	18,5	65	22.46	16.09	+0.152	+0.257	+0.513	+0.251	+0.266	+0.277	+0.272	-0.874	-0.869	-0.927	-0.943	-1.045	-0.899	-0.967
13	22.1.	10 ⁴⁵	35	19	64	23.17	16.50	+0.165	+0.266	+0.517	+0.260	+0.283	+0.292	+0.288	-0.905	-0.892	-0.957	-0.960	-1.074	-0.911	-0.992
14	28.1.	16 ²³	41	20	65	23.79	16.92	+0.169	+0.272	+0.529	+0.269	+0.297	+0.326	+0.314	-0.938	-0.918	-0.986	-0.986	-1.104	-0.937	-1.021
15	19.2.	15 ⁵⁰	63	18,5	40	26.08	18.40	+0.049	+0.283	+0.722	+0.254	+0.222	+0.227	+0.225	-0.937	-0.991	-1.061	-1.125	-1.155	-1.040	-1.008
16	21.2.	12 ⁴⁵	65	20	67	26.33	18.59	+0.149	+0.309	+0.643	+0.302	+0.320	+0.241	+0.281	-1.021	-0.994	-1.091	-1.097	-1.197	-1.045	-1.121
17	11.3.	15 ²⁵	84	18,5	60	27.15	19.11	+0.125	+0.277	+0.671	+0.269	+0.303	+0.223	+0.263	-1.041	-1.059	-1.127	-1.151	-1.247	-1.094	-1.167
18	17.4.	10 ⁵⁰	121	20	40	29.36	20.50	+0.046	+0.316	+0.652	+0.286	+0.262	+0.276	+0.269	-1.064	-1.079	-1.204	-1.252	-1.295	-1.172	-1.234
19	25.4	15 ⁰⁰	129	21	55	29.32	20.56	+0.107	+0.339	+0.683	+0.322	+0.338	+0.347	+0.343	-1.112	-1.117	-1.222	-1.240	-1.328	-1.181	-1.255
20	8.5	18 ³⁰	142	20,5	55	29.29	20.60	+0.121	+0.332	+0.726	+0.323	+0.316	+0.347	+0.332	-1.103	-1.130	-1.232	-1.364	-1.360	-1.203	-1.282
21	24.5.68	14 ⁴⁵	158	20	61	30.32	21.45	+0.278	+0.400	+0.785	+0.403	+0.365	+0.444	+0.405	-1.132	-1.163	-1.247	-1.360	-1.368	-1.229	-1.293
22	30.5.	7 ³⁰	164	20	62	31.25	21.62	+0.315	+0.426	+0.823	+0.430	+0.438	+0.470	+0.454	-1.165	-1.174	-1.260	-1.376	-1.380	-1.243	-1.312
23	5.6.	10 ⁰⁵	170	20	63	33.22	22.79	+0.362	+0.484	+0.933	+0.493	+0.521	+0.542	+0.532	-1.200	-1.230	-1.324	-1.425	-1.450	-1.310	-1.380
24	13.6.	9 ⁰⁰	178	20	62	33.51	22.96	+0.391	+0.510	+0.961	+0.523	+0.547	+0.568	+0.558	-1.208	-1.238	-1.330	-1.431	-1.460	-1.321	-1.392
25	26.6.	9 ¹⁵	191	20	62	34.11	23.30	+0.423	+0.536	+0.995	+0.553	+0.584	+0.598	+0.591	-1.237	-1.266	-1.362	-1.462	-1.490	-1.350	-1.420
26	11.7.	7 ²⁵	206	20,5	63	34.79	23.77	+0.472	+0.592	+1.064	+0.612	+0.609	+0.652	+0.630	-1.247	-1.272	-1.373	-1.461	-1.504	-1.363	-1.434
27	15.7.	11 ⁴⁴	210	20	65	35.03	23.82	+0.482	+0.602	+1.075	+0.622	+0.667	+0.666	+0.666	-1.250	-1.276	-1.377	-1.465	-1.508	-1.367	-1.438

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

VII
Belastungsbeginn am 18. 12. 1967

Herstellungstag: 2. 10. 1967

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0,5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
28	19.8.68	15 ⁰³	245	20	62	36.00	24.41	+0.530	+0.666	+1.157	+0.684	+0.708	+0.717	+0.743	-1.282	-1.311	-1.420	-1.497	-1.535	-1.404	-1.471
29	26.8.	9 ¹⁵	252	20	62	36.07	24.47	+0.533	+0.672	+1.172	+0.697	+0.721	+0.734	+0.728	-1.300	-1.326	-1.433	-1.512	-1.563	-1.422	-1.412
30	27.9.	9 ⁵⁰	284	20	62	37.46	25.29	+0.585	+0.723	+1.230	+0.747	+0.854	+0.897	+0.876	-1.308	-1.335	-1.447	-1.525	-1.573	-1.432	-1.502
31	31.10.	11 ⁰⁰	318	20	65	38.24	25.57	+0.620	+0.760	+1.281	+0.782	+0.875	+0.836	+0.856	-1.320	-1.351	-1.464	-1.542	-1.590	-1.448	-1.519
32	13.11.	7 ⁴⁰	331	20,5	60	38.55	25.80	+0.669	+0.802	+1.328	+0.831	+0.899	+0.895	+0.897	-1.311	-1.344	-1.452	-1.526	-1.591	-1.436	-1.514
33	23.12.	14 ⁵⁰	371	20	65	39.69	26.64	+0.748	+0.783	+1.538	+0.948	+0.983	+1.016	+1.000	-1.363	-1.419	-1.463	-1.617	-1.700	-1.485	-1.592
34	28.1.69	17 ²⁰	406	20	65	42.32	28.70			+1.592	+0.972		+1.022		-1.385		-1.495		-1.725	-1.510	-1.618
35	3.3	10 ³⁵	440	20	65	44.71	30.11			+1.733	+1.074		+1.119		-1.338		-1.375		-1.643	-1.496	-1.570
36	26.3	12 ⁰⁰	463	20	65	46.03	30.81			+1.745	+1.057		+1.080		-1.370		-1.389			-1.525	
37	29.4	14 ³⁰	497	20	65	47.06	31.91			+1.787	+1.084		+1.104		-1.313		-1.457			-1.527	
38	10.6.	9 ⁴⁰	539	20	65	47.20	31.58			+1.775	+1.065		+1.083		-1.309		-1.434			-1.527	
39	29.7	9 ⁴⁰	588	20	65	48.51	32.44			+1.806	+1.090		+1.099		-1.322		-1.439			-1.530	
40	29.7	12 ⁰⁰	588	20	65	13.51	9.10			+0.787	+0.588		+0.642		-0.471					-0.091	

k) nach Belastungsende

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

VII

Herstellungstag: 26. 2. 1968

Belastungsbeginn am 8.5.1968

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- para- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	8.5.68	15 ⁰⁰	0.00	20,5	55																
1	"	15 ⁴⁵	0.03	20,5	57	10.10	6.94	+0.127	+0.095	+0.136	+0.132	+0.136	+0.163	+0.150	-0.412	-0.386	-0.452	-0.434	-0.431	-0.412	-0.422
2	"	16 ⁴⁵	0.07	21	55	10.46	7.18	+0.130	+0.096	+0.140	+0.134	+0.137	+0.165	+0.151	-0.423	-0.393	-0.464	-0.445	-0.441	-0.425	-0.433
3	9.5.	7 ³⁰	0.67	20,5	55	11.70	7.74	+0.155	+0.109	+0.161	+0.155	+0.158	+0.187	+0.173	-0.463	-0.424	-0.508	-0.486	-0.484	-0.464	-0.474
4	"	8 ⁴⁵	0.72	21	54	14.18	9.64	+0.174	+0.128	+0.188	+0.176	+0.190	+0.200	+0.195	-0.515	-0.472	-0.567	-0.542	-0.530	-0.536	-0.533
5	"	16 ⁰⁰	1.04	21	54	14.10	9.72	+0.194	+0.136	+0.209	+0.196	+0.208	+0.213	+0.210	-0.544	-0.495	-0.598	-0.573	-0.560	-0.571	-0.565
6	10.5.	8 ⁰⁰	1.71	20	56	15.01	10.01	+0.211	+0.147	+0.230	+0.215	+0.225	+0.230	+0.227	-0.568	-0.512	-0.629	-0.602	-0.589	-0.604	-0.597
7	13.5.	11 ²⁰	4.83	20	58	17.01	11.84	+0.268	+0.176	+0.291	+0.269	+0.269	+0.273	+0.277	-0.632	-0.560	-0.702	-0.673	-0.662	-0.673	-0.670
8	15.5.	7 ³⁰	7.0	20	67	17.65	11.84	+0.290	+0.190	+0.317	+0.290	+0.285	+0.288	+0.287	-0.654	-0.573	-0.724	-0.695	-0.684	-0.705	-0.695
9	17.5.	14 ³⁰	9	19,5	60	18.20	12.64	+0.315	+0.204	+0.346	+0.320	+0.307	+0.308	+0.308	-0.676	-0.595	-0.748	-0.720	-0.709	-0.730	-0.720
10	20.5.	9 ⁵⁰	12	20	60	18.86	13.10	+0.337	+0.218	+0.378	+0.345	+0.327	+0.327	+0.327	-0.704	-0.603	-0.776	-0.747	-0.740	-0.760	-0.750
11	22.5.	16 ²⁵	14	20	61	19.43	13.48	+0.360	+0.232	+0.404	+0.369	+0.346	+0.344	+0.345	-0.724	-0.617	-0.800	-0.767	-0.762	-0.784	-0.773
12	24.5.	15 ⁰⁰	16	19,7	61	19.87	13.79	+0.371	+0.240	+0.424	+0.384	+0.357	+0.355	+0.356	-0.743	-0.630	-0.818	-0.787	-0.780	-0.805	-0.792
13	28.5.	9 ⁴⁵	20	20	61	20.53	14.23	+0.395	+0.255	+0.455	+0.407	+0.378	+0.374	+0.376	-0.765	-0.647	-0.845	-0.838	-0.806	-0.830	-0.818
14	30.5.	10 ⁰⁰	22	20	61	21.31	14.77	+0.417	+0.270	+0.492	+0.433	+0.398	+0.406	+0.402	-0.793	-0.663	-0.823	-0.884	-0.836	-0.863	-0.850
15	5.6.	10 ¹⁰	28	20	63	22.61	15.65	+0.452	+0.300	+0.557	+0.480	+0.437	+0.435	+0.436	-0.838	-0.695	-0.923	-0.894	-0.831	-0.909	-0.895
16	13.6.	13 ⁰⁵	35	20	62	23.34	16.57	+0.491	+0.334	+0.623	+0.522	+0.477	+0.476	+0.477	-0.882	-0.734	-0.972	-0.930	-0.932	-0.960	-0.946
17	25.6.	9 ¹⁵	47	20	62	25.73	17.77	+0.528	+0.375	+0.704	+0.585	+0.533	+0.531	+0.532	-0.947	-0.785	-1.044	-0.936	-1.002	-1.035	-1.019
18	11.7.	14 ³⁵	63	20,5	63	28.67	18.03	+0.609	+0.435	+0.820	+0.677	+0.611	+0.631	+0.621	-1.025	-0.867	-1.150	-1.098	-1.110	-1.132	-1.121
19	15.7.	11 ⁵³	67	20	65	28.45	19.64	+0.614	+0.448	+0.844	+0.693	+0.628	+0.650	+0.639	-1.046	-0.891	-1.113	-1.125	-1.125	-1.144	-1.135
20	19.8.	15 ¹²	102	20	62	31.54	21.18	+0.631	+0.518	+0.961	+0.722	+0.721	+0.749	+0.735	-1.151	-0.984	-1.284	-1.232	-1.245	-1.267	-1.256
21	14.9.	10 ⁰⁰	128	20	61	33.57	22.54	+0.710	+0.532	+1.001	+0.804	+0.725	+0.729	+0.757	-1.173	-1.007	-1.313	-1.257	-1.214	-1.340	-1.277
22	27.9.	9 ⁵⁰	141	20	62	33.96	22.81	+0.713	+0.545	+1.019	+0.813	+0.800	+0.710	+0.770	-1.189	-1.026	-1.133	-1.278	-1.232	-1.360	-1.296
23	31.10.	11 ²⁰	175	20	65	36.50	24.05	+0.767	+0.588	+1.104	+0.878	+0.875	+0.802	+0.834	-1.126	-1.104	-1.142	-1.365	-1.306	-1.454	-1.380
24	13.11.	13 ²⁵	188	20,5	60	36.80	24.23	+0.834	+0.629	+1.131	+0.936	+0.895	+0.933	+0.914	-1.261	-1.103	-1.422	-1.376	-1.376	-1.393	-1.387
25	23.12	14 ⁵⁰	228	20	65	38.60	25.31	+0.830	+0.613	+1.231	+0.939	+0.901	+0.958	+0.930	-1.407	-1.250	-1.583	-1.546	-1.543	-1.557	-1.550
26	28.1.69	17 ³⁰	263	20	65	39.20	25.76	+0.928	+0.669	+1.430	+1.078	+1.081			-1.502	-1.330	-1.709	-1.666	-1.644	-1.704	-1.674
27	25.3.	11 ⁵³	319	20	65	41.02	26.21	+0.924	+0.668	+1.448	+1.088	+1.109			-1.507	-1.349	-1.722	-1.699	-1.651		
28	29.4.	8 ²⁰	354	20	65	42.65	27.14	+0.954	+0.689	+1.492	+1.117	+1.150			-1.521	-1.360	-1.742	-1.719	-1.669		

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

VII

Belastungsbeginn am 8.5.1968

Herstellungstag: 26.2.1968

lf. Nr	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \cdot$ $(\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0,5 \cdot$ $(\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
29	10.6.68	945	397	20	65	43.01	27.82	+0.949	+0.682	+1.504	+1.117	+1.143			-1.570	-1.407	-1.792	-1.117	-1.731		
30	27.6.	840	414	20	65	43.32	27.99	+0.945	+0.678	+1.510	+1.124	+1.154			-1.587	-1.414	-1.815	-1.124	-1.743		
31	29.7.	955	446	20	65	43.34	28.93	+0.983	+0.707	+1.563	+1.172	+1.201				-1.418	-1.810	-1.172	-1.743		
32	9.9.	935	488	20	65	46.12	29.71	+1.026	+0.738	+1.603	+1.219	+1.274				-1.461	-1.811	-1.219	-1.739		
33	9.9.	1230	488	20	65	22.06	14.20	+0.639	+0.472	+0.810	+0.724	+0.723				-0.921	-1.008	-0.724	-1.024		

) nach Belastungsende

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

VIII
Belastungsbeginn am 7. 5. 1968

Herstellungstag: 6. 3. 1968

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{i7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	8.5.68	12 ³⁰	0.00	20,5	55																
1	"	13 ³⁰	0.04	20,5	55	17.62	11.68	+0.200	+0.184	+0.165	+0.334	+0.229	+0.271	+0.250	-0.699	-0.616	-0.654	-0.850	-0.646	-0.568	-0.607
2	"	14 ⁰⁵	0.06	20,5	55	18.26	12.28	+0.207	+0.191	+0.172	+0.348	+0.240	+0.283	+0.262	-0.698	-0.638	-0.664	-0.875	-0.571	-0.667	-0.619
3	"	16 ⁰⁰	0.15	21	55	19.31	12.96	+0.214	+0.198	+0.178	+0.363	+0.247	+0.293	+0.270	-0.735	-0.650	-0.658	-0.896	-0.572	-0.685	-0.629
4	9.5.	7 ³⁵	0.79	20,5	55	21.10	14.24	+0.233	+0.222	+0.198	+0.410	+0.271	+0.327	+0.299	-0.780	-0.689	-0.620	-0.955	-0.548	-0.735	-0.660
5	"	8 ⁵⁰	0.85	21	54	25.93	17.39	+0.286	+0.271	+0.252	+0.517	+0.333	+0.432	+0.383	-0.898	-0.798	-0.723	-1.092	-0.702	-0.855	-0.773
6	"	13 ⁴⁵	1.05	21	54	26.05	18.09	+0.305	+0.289	+0.268	+0.548	+0.344	+0.456	+0.400	-0.907	-0.806	-0.708	-1.114	-0.705	-0.865	-0.785
7	10.5.	8 ¹⁰	1.81	20	56	26.96	18.39	+0.332	+0.311	+0.289	+0.595	+0.370	+0.491	+0.431	-0.946	-0.827	-0.758	-1.165	-0.722	-0.900	-0.816
8	13.5.	11 ²⁵	5.0	20	58	29.47	20.19	+0.381	+0.356	+0.329	+0.686	+0.420	+0.553	+0.487	-1.010	-0.880	-0.795	-1.255	-0.755	-0.986	-0.871
9	15.5.	7 ³⁰	7.0	20	67	30.44	20.86	+0.398	+0.373	+0.346	+0.720	+0.438	+0.576	+0.507	-1.032	-0.900	-0.820	-1.286	-0.773	-1.015	-0.894
10	17.5.	15 ⁰⁰	9.0	19,5	60	31.17	21.39	+0.420	+0.393	+0.367	+0.757	+0.462	+0.602	+0.532	-1.054	-0.916	-0.823	-1.317	-0.782	-1.042	-0.912
11	20.5.	9 ⁵⁵	12	20	60	32.09	21.70	+0.441	+0.413	+0.384	+0.795	+0.484	+0.631	+0.558	-1.080	-0.940	-0.862	-1.352	-0.767	-1.072	-0.935
12	22.5.	16 ²⁸	14	20	61	32.95	22.05	+0.460	+0.433	+0.403	+0.834	+0.507	+0.657	+0.582	-1.105	-0.957	-0.879	-1.383	-0.809	-1.097	-0.953
13	24.5	15 ⁰⁰	16	19,7	61	33.62	23.08	+0.474	+0.447	+0.416	+0.862	+0.523	+0.675	+0.599	-1.123	-0.974	-0.886	-1.406	-0.822	-1.118	-0.970
14	28.5.	9 ⁵⁵	20	20	61	34.51	23.71	+0.495	+0.468	+0.436	+0.900	+0.548	+0.705	+0.627	-1.148	-0.995	-0.915	-1.438	-0.842	-1.146	-0.934
15	30.5.	10 ⁰⁰	22	20	61	35.61	24.47	+0.522	+0.489	+0.460	+0.943	+0.575	+0.737	+0.656	-1.176	-1.032	-0.926	-1.475	-0.868	-1.180	-1.024
16	5.6	11 ¹⁵	28	20	63	37.18	25.54	+0.568	+0.528	+0.498	+1.013	+0.621	+0.793	+0.707	-1.221	-1.058	-0.953	-1.527	-0.906	-1.229	-1.068
17	13.6	13 ¹⁵	35	20	62	38.93	26.74	+0.613	+0.572	+0.538	+1.092	+0.670	+0.862	+0.766	-1.266	-1.109	-1.012	-1.583	-0.951	-1.284	-1.118
18	25.6.	9 ¹⁵	47	20	63	41.49	28.48	+0.682	+0.623	+0.594	+1.198	+0.741	+0.893	+0.817	-1.336	-1.158	-1.083	-1.648	-1.018	-1.364	-1.191
19	10.7.	14 ³⁰	62	20,5	63	43.57	29.83	+0.755	+0.691	+0.652	+1.303			+0.902	-1.398	-1.209	-1.156	-1.734	-1.085	-1.432	-1.259
20	15.7.	11 ⁵⁷	67	20	65	44.05	30.11	+0.773	+0.694	+0.647	+1.293			+0.956	-1.365	-1.191	-1.171	-1.702	-1.054	-1.496	-1.275
21	19.8.	15 ¹⁷	102	20	62	46.29	31.77	+0.841	+0.759	+0.704	+1.398			-1.070	-1.454	-1.207	-1.323	-1.823	-1.100	-1.606	-1.353
22	26.8.	9 ²⁵	109	20	62	46.46	31.96	+0.852	+0.765	+0.712	+1.412			-1.079	-1.471	-1.208	-1.329	-1.840	-1.108	-1.608	-1.358
23	14.9.	10 ⁰⁰	128	20	61	46.88	32.08	+0.888	+0.803	+0.740	+1.461			-1.099	-1.486	-1.208	-1.360	-1.872	-1.102	-1.638	-1.370
24	27.9.	9 ⁵⁵	141	20	62	47.88	32.52	+0.901	+0.818	+0.749	+1.478			-1.152	-1.497	-1.209	-1.323	-1.830	-1.103		-1.342
25	31.10.	11 ³⁰	175	20	65	49.65	33.63	+0.929	+0.860	+0.782	+1.539			-1.191	-1.540	-1.226	-1.393	-1.941	-1.127		-1.401
26	13.11.	13 ²⁵	188	20,5	60	50.14	33.95	+1.038	+1.067	+0.868	+1.554			-1.240	-1.508	-1.250	-1.369	-2.033	-1.212		-1.505
27	23.12	14 ⁵⁰	228	20	65	52.84	35.86	+1.039	+1.058	+0.855	+1.581			-1.293	-1.741	-1.363	-1.538	-2.115	-1.331		-1.645

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze VIII

Herstellungstag: 6.3.1968

Belastungsbeginn am: 7.5.1968

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	y_2 mm	y_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0,5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0,5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
28	28.1.69	17 ³⁵	263	20	65	54.41	36.90	+1.080	+1.092	+0.890					-1.670	-1.381	-1.382		-1.344	-1.695	-1.520
29	3.3.	10 ⁴⁵	297	"	"	55.22	37.39	+1.133	+1.150	+0.952					-1.644	-1.352	-1.398		-1.313	-1.678	-1.496
30	26.3.	12 ⁰⁰	320	"	"	56.01	37.87	+1.126	+1.128	+0.962					-1.723	-1.431	-1.464		-1.398	-1.761	-1.580
31	29.4.	8 ²⁵	354	"	"	57.36	39.02	+1.152	+1.144	+0.946					-1.742	-1.434	-1.496		-1.424	-1.768	-1.596
32	10.6.	9 ⁵⁰	397	"	"	58.65	39.94	+1.162	+1.143	+0.949					-1.792	-1.478	-1.562		-1.470	-1.831	-1.651
33	27.6.	8 ⁴⁵	414	"	"	58.96	40.16	+1.165	+1.147	+0.950					-1.811	-1.482	-1.590		-1.490	-1.838	-1.664
34	29.7.	10 ⁰⁵	446	"	"	60.64	42.23	+1.215	+1.198	+0.995					-1.809	-1.468	-1.596		-1.498	-1.836	-1.667
35	26.8.	8 ¹⁰	474	"	"	60.88	43.01	+1.239	+1.185	+0.995					-1.830	-1.517	-1.636		-1.545	-1.858	-1.702
36	12.9.	11 ⁰⁵	491	"	"	61.46	42.92	+1.298	+1.234						-1.799	-1.490	-1.614		-1.523	-1.828	-1.676
x)																					
37	12.9.	11 ³²	491	"	"	10.45	8.67	+0.594	+0.680												
38	16.9.	16 ⁰²	495	"	"	9.21	6.91	+0.582	+0.629												
39	19.9.	11 ⁵³	498	"	"	9.04	6.72	+0.582	+0.627												
40	23.9.	8 ¹⁶	502	"	"	8.80	6.54	+0.541	+0.604												
41	26.9.	15 ²⁰	505	"	"	8.70	6.47	+0.542	+0.603												
42	1.10.	15 ²⁴	519	"	"	8.52	6.33	+0.547	+0.608												
43	7.10.	15 ²⁷	526	"	"	8.39	6.23	+0.549	+0.606												

x)
nach Belastungsende

Tafel

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

IX

Belastungsbeginn am 3.7.1969

Herstellungstag: 5.6.1969

lf. Nr	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	3.7.	14 ³⁵	0.0	20	65																
1	3.7.	15 ⁵⁵	0.0	"	"	2.07	1.98	-0.000	-0.004	+0.002	-0.006	0.000	+0.023	+0.011	-0.178	-0.171	-0.184	-0.181	-0.234	-0.224	-0.229
2	3.7.	16 ³⁵	0.1	"	"	2.30	2.11	-0.001	-0.004	+0.002	-0.001	0.000	+0.023	+0.011	-0.183	-0.176	-0.188	-0.187	-0.244	-0.232	-0.238
3	4.7.	7 ⁴⁵	0.6	"	"	2.71	2.45	-0.002	-0.006	0.000	-0.005	0.000	+0.020	+0.010	-0.212	-0.198	-0.217	-0.212	-0.275	-0.257	-0.266
4	4.7.	15 ⁰⁵	1	"	"	2.82	2.53	-0.002	-0.006	0.000	-0.006	0.000	+0.019	+0.009	-0.217	-0.203	-0.223	-0.217	-0.281	-0.264	-0.272
5	7.7.	8 ³⁵	4	"	"	3.33	2.80	-0.011	-0.013	-0.006	-0.015	-0.007	+0.009	+0.001	-0.248	-0.227	-0.254	-0.244	-0.300	-0.294	-0.297
6	10.7.	16 ¹⁰	7	"	"	3.71	3.15	-0.016	-0.018	-0.010	-0.021	-0.014	+0.001	-0.006	-0.270	-0.248	-0.279	-0.266	-0.326	-0.318	-0.322
7	16.7.	8 ¹⁵	13	"	"	4.11	3.43	-0.020	-0.021	-0.013	-0.024	-0.018	-0.005	-0.011	-0.292	-0.264	-0.302	-0.289	-0.338	-0.341	-0.339
8	21.7.	10 ⁰⁰	18	"	"	4.45	3.65	-0.032	-0.034	-0.023	-0.036	-0.030	-0.018	-0.024	-0.318	-0.286	-0.327	-0.311	-0.352	-0.366	-0.359
9	29.7.	9 ⁵⁰	26	"	"	5.00	4.01	-0.019	-0.013	-0.004	-0.020	-0.013	-0.010	-0.011	-0.355	-0.291	-0.338	-0.335	-0.366	-0.372	-0.369
10	5.8.	8 ²⁰	33	"	"	5.31	4.18	-0.069	-0.068	-0.058	-0.071	-0.071	-0.051	-0.061	-0.393	-0.348	-0.404	-0.379	-0.419	-0.433	-0.416
11	13.8.	16 ³⁵	41	"	"	5.68	4.53	-0.065	-0.056	-0.049	-0.063	-0.071	-0.051	-0.061	-0.394	-0.353	-0.401	-0.376	-0.417	-0.445	-0.431
12	26.8.	8 ⁰⁰	54	"	"	6.07	4.79	-0.084	-0.073	-0.067	-0.081	-0.091	-0.071	-0.081	-0.431	-0.388	-0.438	-0.411	-0.423	-0.485	-0.454
13	9.9.	9 ³⁰	68	"	"	6.11	5.00	-0.100	-0.094	-0.090	-0.101	-0.116	-0.096	-0.106	-0.459	-0.417	-0.468	-0.440	-0.452	-0.520	-0.486
14	16.9.	15 ⁵⁶	75	"	"	6.57	5.14	-0.118	-0.103	-0.102	-0.112	-0.130	-0.104	-0.117	-0.479	-0.437	-0.488	-0.458	-0.462	-0.538	-0.500
15	19.9.	11 ⁴⁷	78	"	"	6.61	5.19	-0.120	-0.109	-0.105	-0.115	-0.133	-0.109	-0.121	-0.483	-0.440	-0.491	-0.459	-0.463	-0.543	-0.503
16	23.9.	8 ¹¹	82	"	"	6.69	5.20	-0.124	-0.109	-0.107	-0.116	-0.136	-0.109	-0.122	-0.490	-0.448	-0.499	-0.467	-0.469	-0.551	-0.510
17	26.9.	15 ¹⁴	85	"	"	6.75	5.31	-0.126	-0.112	-0.109	-0.118	-0.139	-0.114	-0.126	-0.495	-0.451	-0.503	-0.472	-0.470	-0.555	-0.512
18	1.10.	13 ¹⁷	90	"	"	6.84	5.39	-0.128	-0.112	-0.111	-0.118	-0.139	-0.114	-0.126	-0.500	-0.454	-0.505	-0.475	-0.469	-0.558	-0.513
19	7.10.	15 ¹¹	96	"	"	6.95	5.44	-0.131	-0.112	-0.114	-0.166	-0.145	-0.117	-0.131	-0.507	-0.463	-0.513	-0.484	-0.477	-0.568	-0.522
20	13.10.	9 ²²	102	"	"	7.04	5.50	-0.137	-0.123	-0.120	-0.130	-0.152	-0.124	-0.138	-0.517	-0.474	-0.526	-0.493	-0.486	-0.578	-0.532
21	24.10.	15 ⁴²	113	"	"	7.24	5.69	-0.150	-0.133	-0.132	-0.141	-0.164	-0.132	-0.148	-0.535	-0.491	-0.542	-0.510	-0.493	-0.592	-0.542
22	30.10.	15 ³⁴	119	"	"	7.34	5.73	-0.157	-0.141	-0.139	-0.149	-0.172	-0.139	-0.155	-0.545	-0.502	-0.553	-0.521	-0.502	-0.604	-0.553
23	3.11.	14 ⁵⁶	123	"	"	7.40	5.80	-0.157	-0.142	-0.139	-0.151	-0.174	-0.141	-0.157	-0.550	-0.506	-0.556	-0.525	-0.507	-0.609	-0.558
24	4.11.	15 ¹⁵	124	"	"	7.41	5.80	-0.157	-0.142	-0.139	-0.151	-0.171	-0.141	-0.156	-0.553	-0.510	-0.559	-0.528	-0.503	-0.613	-0.558
25	10.11.	14 ⁵⁶	130	"	"	7.50	5.86	-0.163	-0.146	-0.145	-0.154	-0.176	-0.145	-0.160	-0.560	-0.517	-0.568	-0.535	-0.512	-0.620	-0.566
26	28.11.	11 ⁵⁵	148	"	"	7.70	6.00	-0.173	-0.158	-0.154	-0.165	-0.187	-0.153	-0.170	-0.578	-0.538	-0.587	-0.554	-0.525	-0.638	-0.581
27	27.1.70	11 ²⁵	208	"	"	8.30	6.50	-0.186	-0.174	-0.166	-0.181	-0.204	-0.161	-0.182	-0.618	-0.596	-0.637	-0.607	-0.551	-0.689	-0.620
28	12.3.	9 ⁴⁰	252	"	"	8.71	6.78	-0.202	-0.190	-0.182	-0.197	-0.222	-0.172	-0.197	-0.661	-0.634	-0.672	-0.643	-0.593	-0.724	-0.658

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

IX

Herstellungstag: 5.6.1969

Belastungsbeginn am 3.7.1969

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
29	14.4.	8 ¹⁵	185	-20	-65	9.01	6.91	-0.213	-0.201	-0.191	-0.206	-0.232	-0.182	-0.207	-0.680	-0.654	-0.691	-0.119	-0.612	-0.741	-0.676
30	11.5.	13 ⁰⁰	312	"	"	9.14	7.05	-0.221	-0.209	-0.200	-0.216	-0.237	-0.187	-0.212	-0.692	-0.667	-0.701	-0.677	-0.607	-0.750	-0.678
31	29.6.	9 ⁴⁰	361	"	"	9.42	7.15	-0.240	-0.212	-0.219	-0.231	-0.254	-0.204	-0.229	-0.715	-0.685	-0.715	-0.698	-0.626	-0.773	-0.699
32	10.8.	16 ⁴⁷	403	"	"	9.59	7.25	-0.252	-0.234	-0.231	-0.241	-0.265	-0.216	-0.240	-0.730	-0.698	-0.739	-0.711	-0.621	-0.784	-0.702
33	7.9.	12 ³⁰	431	"	"	9.64															
33	26.10.	10 ⁵⁰	480	"	"	9.81	7.38	-0.249	-0.234	-0.226	-0.238	-0.264	-0.213	-0.238	-0.730	-0.702	-0.740	-0.712	-0.609	-0.787	-0.698
34	26.10.	13 ¹⁰	480	"	"	9.81	7.38														
x) 35	26.10.	15 ³⁰	480	"	"	7.02	5.08	-0.252	-0.235	-0.234	-0.243	-0.252	-0.266	-0.259	-0.544	-0.530	-0.550	-0.525	-0.285	-0.520	-0.402
36	26.10.	16 ³⁵	480	"	"	6.94	4.99	-0.253	-0.234	-0.235	-0.242	-0.253	-0.265	-0.259	-0.543	-0.529	-0.547	-0.523	-0.283	-0.517	-0.400
37	27.10.	8 ⁵⁰	481	"	"	6.72	4.92	-0.254	-0.235	-0.236	-0.243	-0.253	-0.269	-0.261	-0.540	-0.524	-0.542	-0.518	-0.272	-0.509	-0.390
38	29.10.	8 ⁰⁵	483	"	"	6.55	4.86	-0.252	-0.233	-0.235	-0.242	-0.251	-0.269	-0.260	-0.533	-0.519	-0.536	-0.512	-0.263	-0.501	-0.382
39	6.11.	8 ³⁰	491	"	"	6.33	4.82	-0.252	-0.233	-0.235	-0.242	-0.251	-0.269	-0.260	-0.527	-0.512	-0.528	-0.506	-0.252	-0.490	-0.371
40	8.12.	11 ²⁰	523	"	"	6.02	4.62	-0.247	-0.227	-0.231	-0.237	-0.244	-0.266	-0.255	-0.511	-0.499	-0.513	-0.489	-0.230	-0.470	-0.350
41	28.1.71	12 ¹⁰	574	"	"	5.88	4.51	-0.244	-0.226	-0.229	-0.235	-0.242	-0.266	-0.254	-0.501	-0.490	-0.504	-0.478	-0.213	-0.455	-0.334
42	16.3.	16 ¹⁰	621	"	"	5.76	4.40														
42	18.3.	9 ¹⁰	623	"	"	5.78	4.43	-0.247	-0.230	-0.231	-0.238	-0.246	-0.272	-0.259	-0.499	-0.489	-0.501	-0.474	-0.199	-0.448	-0.323
43	1.4.	7 ⁴⁵	637	"	"	5.73	4.41	-0.249	-0.233	-0.234	-0.240	-0.248	-0.274	-0.261	-0.501	-0.490	-0.502	-0.477	-0.201	-0.448	-0.324

x) nach Belastungsende

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

X

Herstellungstag: 7.7.1969

Belastungsbeginn am: 4.8.1969

lf. Nr.	Da-tum	Uhr-zeit	Be-lastungs-dauer [Tage]	Tem-pera-tur °C	Luft-feuchtig-keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	4.8.69	12 ²⁰	0.0	~20	-65																
1	4.8.	15 ²⁰	0.0	"	"	7.21	5.72	+0.073	+0.051	+0.067	+0.062	+0.066	+0.060	+0.063	-0.431	-0.404	-0.401	-0.433	-0.405	-0.414	-0.409
2	4.8.	15 ⁵⁰	0.0	"	"	7.19	5.77	+0.081	+0.050	+0.072	+0.062	+0.069	+0.061	+0.065	-0.421	-0.377	-0.387	-0.407	-0.389	-0.398	-0.393
3	5.8.	8 ¹⁰	0.7	"	"	9.17	7.15	+0.100	+0.065	+0.095	+0.080	+0.090	+0.081	+0.085	-0.495	-0.441	-0.608	-0.480	-0.458	-0.471	-0.464
4	5.8.	16 ³⁰	1	"	"	9.45	7.31	+0.105	+0.070	+0.101	+0.087	+0.096	+0.085	+0.090	-0.509	-0.452	-0.469	-0.916	-0.472	-0.485	-0.478
5	6.8.	17 ⁰⁰	2	"	"	9.72	7.51	+0.116	+0.082	+0.114	+0.103	+0.108	+0.096	+0.102	-0.509	-0.441	-0.466	-0.491	-0.470	-0.487	-0.478
6	11.8.	14 ³⁵	7	"	"	11.53	8.84	+0.141	+0.104	+0.147	+0.131	+0.126	+0.117	+0.121	-0.577	-0.491	-0.528	-0.567	-0.541	-0.562	-0.551
7	13.8.	16 ³⁰	9	"	"	12.36	9.43	+0.152	+0.113	+0.163	+0.140	+0.139	+0.126	+0.132	-0.608	-0.517	-0.557	-0.598	-0.572	-0.596	-0.584
8	26.8.	8 ⁰⁰	22	"	"	13.68	10.38	+0.150	+0.107	+0.170	+0.134	+0.129	+0.121	+0.125	-0.622	-0.576	-0.626	-0.676	-0.651	-0.679	-0.665
9	9.9.	9 ¹⁰	36	"	"	14.70	11.07	+0.139	+0.098	+0.170	+0.124	+0.118	+0.109	+0.113	-0.735	-0.622	-0.673	-0.729	-0.708	-0.739	-0.723
10	16.9.	16 ⁴⁷	43	"	"	15.07	11.60	+0.148	+0.101	+0.192	+0.133	+0.125	+0.128	+0.126	-0.809	-0.688	-0.744	-0.802	-0.786	-0.812	-0.799
11	19.9.	11 ⁴⁴	46	"	"	15.24	11.74	+0.149	+0.102	+0.198	+0.133	+0.124	+0.130	+0.127	-0.819	-0.696	-0.753	-0.811	-0.797	-0.824	-0.810
12	23.9.	8 ⁰⁷	50	"	"	15.51	11.94	+0.151	+0.105	+0.205	+0.136	+0.129	+0.134	+0.131	-0.831	-0.708	-0.764	-0.825	-0.812	-0.837	-0.824
13	26.9.	15 ¹⁰	53	"	"	15.69	12.09	+0.150	+0.104	+0.207	+0.134	+0.128	+0.135	+0.131	-0.842	-0.716	-0.774	-0.836	-0.825	-0.847	-0.836
14	1.10.	13 ⁰⁰	58	"	"	15.91	12.25	+0.155	+0.109	+0.217	+0.139	+0.132	+0.142	+0.137	-0.849	-0.725	-0.780	-0.844	-0.834	-0.856	-0.845
15	7.10.	15 ⁰⁸	64	"	"	15.99	12.51	+0.155	+0.108	+0.221	+0.172	+0.132	+0.142	+0.137	-0.868	-0.742	-0.799	-0.864	-0.856	-0.878	-0.867
16	13.10.	9 ²²	70	"	"	17.09	13.05	+0.156	+0.107	+0.226	+0.140	+0.134	+0.144	+0.139	-0.893	-0.767	-0.824	-0.891	-0.883	-0.906	-0.894
17	24.10.	15 ⁴¹	81	"	"	17.61	13.40	+0.153	+0.105	+0.233	+0.141	+0.131	+0.149	+0.140	-0.919	-0.791	-0.848	-0.913	-0.912	-0.930	-0.921
18	30.10.	15 ²⁴	87	"	"	17.89	13.59	+0.151	+0.104	+0.234	+0.139	+0.131	+0.149	+0.140	-0.938	-0.805	-0.863	-0.934	-0.929	-0.947	-0.938
19	3.11.	14 ⁵²	91	"	"	17.55	12.96	+0.152	+0.103	+0.236	+0.138	+0.131	+0.149	+0.140	-0.945	-0.813	-0.873	-0.944	-0.941	-0.958	-0.949
20	4.11.	15 ¹⁰	92	"	"	18.16	13.82	+0.152	+0.103	+0.241	+0.139	+0.134	+0.149	+0.141	-0.956	-0.824	-0.884	-0.957	-0.948	-0.969	-0.958
21	10.11.	14 ³³	98	"	"	18.39	13.97	+0.153	+0.104	+0.242	+0.141	+0.134	+0.150	+0.142	-0.963	-0.831	-0.890	-0.963	-0.958	-0.978	-0.968
22	28.11.	11 ¹⁷	116	"	"	19.15	14.57	+0.150	+0.100	+0.247	+0.137	+0.132	+0.152	+0.142	-1.002	-0.873	-0.929	-1.006	-1.000	-1.017	-1.008
23	27.1.70	11 ²⁰	176	"	"	22.55	16.81	+0.163	+0.115	+0.317	+0.153	+0.148	+0.190	+0.169	-1.107	-0.988	-1.035	-1.120	-1.111	-1.130	-1.125
24	12.3.	9 ⁰⁵	220	"	"	24.03	17.82	+0.159	+0.108	+0.335	+0.149	+0.149	+0.195	+0.172	-1.174	-1.058	-1.106	-1.192	-1.192	-1.197	-1.194
25	14.4.	8 ¹⁰	253	"	"	24.84	18.37	+0.155	+0.102	+0.341	+0.142	+0.149	+0.195	+0.172	-1.212	-1.097	-1.145	-1.231	-1.229	-1.237	-1.233
26	14.5.	12 ⁵³	280	"	"	25.22	18.61	+0.146	+0.089	+0.331	+0.132	+0.147	+0.185	+0.166	-1.230	-1.116	-1.168	-1.254	-1.247	-1.253	-1.250
27	29.6.	9 ⁴³	329	"	"	25.60	18.86	+0.123	+0.096	+0.324	+0.138	+0.131	+0.191	+0.161	-1.283	-1.131	-1.161	-1.317	-1.217	-1.227	-1.222
28	10.8.	16 ⁰⁰	371	"	"	26.00	19.11	+0.114	+0.061	+0.304	+0.100	+0.120	+0.157	+0.138	-1.292	-1.168	-1.232	-1.312	-1.301	-1.310	-1.305

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

X
Belastungsbeginn am: 4. 8. 1969

Herstellungstag: 7.7.1969

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	y_2 mm	y_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{im} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
29	29.10	12 ³⁰	399	~20	~65	26.28															
30	26.10	10 ³⁰	448	"	"	26.71	19.58	+0.124	+0.066	+0.321	+0.105	+0.122	+0.170	+0.149	-1.309	-1.192	-1.249	-1.330	-1.320	-1.326	-1.323
31	26.10	13 ⁰⁵	448	"	"	26.71	19.58														
32	26.10	15 ²⁰	448	"	"	5.08	3.47	-0.038	-0.083	+0.047	-0.105	-0.045	-0.073	-0.059	-0.934				-0.601	-0.406	-0.503
33	26.10	16 ³⁰	448	"	"	4.85	3.30	-0.039	-0.082	+0.046	-0.105	-0.049	-0.075	-0.062	-0.932				-0.596	-0.400	-0.498
34	27.10	7 ⁴⁸	449	"	"	4.36	2.93	-0.044	-0.079	+0.047	-0.104	-0.048	-0.074	-0.061	-0.922				-0.576	-0.373	-0.474
35	29.10	8 ⁰⁰	451	"	"	3.95	2.65	-0.045	-0.077	+0.046	-0.103	-0.048	-0.074	-0.061	-0.912				-0.562	-0.355	-0.458
36	6.11	8 ³⁰	459	"	"	3.38	2.22	-0.049	-0.077	+0.045	-0.105	-0.050	-0.077	-0.063	-0.900				-0.542	-0.334	-0.438
37	8.12	11 ¹⁵	491	"	"	2.59	1.69	-0.052	-0.071	+0.046	-0.101	-0.048	-0.077	-0.062	-0.877				-0.508	-0.301	-0.404
38	22.1.71	12 ⁰⁵	542	"	"	2.02	1.29	-0.055	-0.065	+0.047	-0.100	-0.049	-0.077	-0.063	-0.861				-0.483	-0.275	-0.379
39	16.3.	16 ¹⁰	589	"	"	1.58	0.98														
40	18.3.	9 ¹⁰	591	"	"	1.62	0.99	-0.063	-0.067	+0.045	-0.104	-0.052	-0.081	-0.066	-0.857				-0.470	-0.258	-0.364
41	1.4.	7 ⁴⁰	605	"	"	1.82	1.10	-0.064	-0.068	+0.045	-0.106	-0.054	-0.083	-0.068	-0.858				-0.469	-0.259	-0.364
42	14.4.	7 ⁴⁵	618	"	"	1.76	1.06	-0.069	-0.070	+0.040	-0.111	-0.057	-0.086	-0.071	-0.860				-0.470	-0.260	-0.365

x) nach Belastungsende

Herstellungstag: 13.8.1969

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	y_2 mm	y_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{i7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	12.9.69	11 ⁴⁴	0.0	~20	~65																
1	12.9.	12 ⁵²	0.0	"	"	9.07	6.68	+0.092	+0.069	+0.094	+0.080	+0.067	+0.096	+0.081	-0.408	-0.384	-0.388	-0.386	-0.414	-0.376	-0.395
2	12.9.	15 ⁴⁵	0.1	"	"	8.93	7.31	+0.106	+0.097	+0.106	+0.094	+0.081	+0.105	+0.093	-0.446	-0.418	-0.424	-0.421	-0.452	-0.415	-0.433
3	16.9.	16 ⁰⁰	4	"	"	13.63	9.99	+0.166	+0.123	+0.181	+0.164	+0.136	+0.153	+0.144	-0.585	-0.478	-0.501	-0.557	-0.594	-0.559	-0.576
4	19.9.	11 ⁴⁹	7	"	"	14.68	10.79	+0.176	+0.130	+0.199	+0.178	+0.148	+0.158	+0.153	-0.623	-0.510	-0.529	-0.602	-0.639	-0.605	-0.622
5	23.9.	8 ¹³	11	"	"	15.70	11.55	+0.185	+0.134	+0.218	+0.191	+0.155	+0.167	+0.161	-0.665	-0.544	-0.567	-0.647	-0.684	-0.652	-0.668
6	26.9.	15 ¹⁷	14	"	"	16.41	12.08	+0.189	+0.137	+0.229	+0.199	+0.163	+0.172	+0.168	-0.696	-0.572	-0.596	-0.678	-0.718	-0.685	-0.701
7	1.10.	15 ²¹	19	"	"	17.38	12.80	+0.198	+0.140	+0.243	+0.213	+0.174	+0.182	+0.178	-0.733	-0.609	-0.634	-0.722	-0.761	-0.728	-0.744
8	7.10.	15 ¹⁴	25	"	"	18.31	13.49	+0.201	+0.141	+0.252	+0.224	+0.184	+0.186	+0.185	-0.774	-0.651	-0.675	-0.767	-0.808	-0.776	-0.792
9	13.10.	9 ²³	31	"	"	19.63	14.38	+0.206	+0.139	+0.261	+0.234	+0.190	+0.193	+0.191	-0.819	-0.691	-0.719	-0.814	-0.859	-0.824	-0.841
10	17.10.	15 ⁴⁵	35	"	"	20.22	14.68	+0.204	+0.137	+0.265	+0.237	+0.191	+0.186	+0.193	-0.845	-0.719	-0.744	-0.841	-0.888	-0.850	-0.869
11	24.10.	15 ⁴⁵	42	"	"	21.08	15.38	+0.205	+0.134	+0.269	+0.240	+0.195	+0.200	+0.197	-0.881	-0.754	-0.780	-0.881	-0.931	-0.891	-0.911
12	30.10.	15 ⁴⁷	48	"	"	21.65	15.78	+0.200	+0.128	+0.267	+0.240	+0.191	+0.190	+0.194	-0.910	-0.786	-0.808	-0.913	-0.966	-0.924	-0.945
13	3.11.	14 ⁵⁸	52	"	"	21.97	16.04	+0.202	+0.128	+0.271	+0.243	+0.195	+0.204	+0.199	-0.926	-0.800	-0.824	-0.931	-0.988	-0.942	-0.965
14	4.11.	15 ¹⁸	53	"	"	22.26	16.23	+0.206	+0.129	+0.276	+0.248	+0.201	+0.205	+0.203	-0.935	-0.809	-0.833	-0.940	-0.995	-0.954	-0.974
15	10.11.	15 ⁰¹	59	"	"	22.80	16.61	+0.202	+0.124	+0.275	+0.249	+0.200	+0.205	+0.202	-0.956	-0.836	-0.857	-0.964	-1.023	-0.980	-1.001
16	28.11.	11 ⁵⁸	77	"	"	24.45	17.76	+0.203	+0.118	+0.285	+0.261	+0.209	+0.217	+0.213	-1.026	-0.907	-0.923	-1.040	-1.107	-1.058	-1.082
17	27.1.70	11 ⁴⁰	137	"	"	30.25	21.79	+0.225	+0.108	+0.332	+0.323	+0.276	+0.279	+0.277	-1.221	-1.130	-1.125	-1.261	-1.354	-1.286	-1.320
18	12.3.	9 ¹²	181	"	"	32.80	23.51	+0.215	+0.090	+0.340	+0.334	+0.289	+0.297	+0.293	-1.332	-1.247	-1.234	-1.380	-1.481	-1.413	-1.447
19	14.4.	8 ²⁰	214	"	"	34.01	24.34	+0.205	+0.075	+0.340	+0.333	+0.288	+0.301	+0.293	-1.390	-1.311	-1.292	-1.442	-1.546	-1.479	-1.512
20	11.5.	12 ⁰⁵	241	"	"	34.44	24.61	+0.190	+0.062	+0.332	+0.319	+0.276	+0.299	+0.287	-1.416	-1.331	-1.310	-1.469	-1.588	-1.507	-1.547
21	29.6.	9 ⁴⁸	290	"	"	34.76	24.80	+0.159	+0.035	+0.306	+0.291	+0.251	+0.273	+0.262	-1.458	-1.363	-1.347	-1.507	-1.630	-1.548	-1.589
22	11.8.	8 ¹¹	333	"	"	35.03	24.97	+0.138	+0.019	+0.289	+0.274	+0.234	+0.261	+0.247	-1.488	-1.389	-1.371	-1.536	-1.658	-1.575	-1.616
23	7.9.	12 ³⁵	360	"	"	35.10															
24	26.10.	11 ¹⁰	409	"	"	35.43	25.23	+0.135	+0.010	+0.289	+0.272	+0.232	+0.264	+0.248	-1.499	-1.411	-1.380	-1.552	-1.683	-1.598	-1.640
25	6.11.	8 ⁵⁰	420	"	"	34.80	24.92	+0.134	+0.010	+0.289	+0.271	+0.231	+0.263	+0.247	-1.503	-1.416	-1.383	-1.556	-1.687	-1.602	-1.644
26	8.12.	11 ²⁵	452	"	"	34.84	24.97	+0.136	+0.011	+0.292	+0.275	+0.238	+0.269	+0.253	-1.506	-1.420	-1.385	-1.559	-1.692	-1.605	-1.648
27	28.1.71	12 ¹⁰	503	"	"	35.01	25.09	+0.136	+0.009	+0.294	+0.273	+0.238	+0.270	+0.254	-1.514	-1.431	-1.391	-1.569	-1.702	-1.617	-1.659
28	16.3.	16 ¹⁰	550	"	"	35.42	25.37														

Tafel

Werte der Langzeitversuche an der Stütze

XI

Herstellungstag: 13.8.1969

Belastungsbeginn am: 12.9.1969

lf. Nr.	Da-tum	Uhr-zeit	Be-lastungs-dauer [Tage]	Tem-pera-tur °C	Luft-feuchtig-keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{e1} 10^{-3}	ϵ_{e2} 10^{-3}	ϵ_{e3} 10^{-3}	ϵ_{e4} 10^{-3}	ϵ_{e5} 10^{-3}	ϵ_{e6} 10^{-3}	$\epsilon_{e7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{e5} + \epsilon_{e6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
29	18.3.	9 ¹⁰	551	-20	~65	35.44	25.38	+0.133	+0.004	+0.214	+0.264	+0.239	+0.267	+0.253	-1.530	-1.454	-1.408	-1.585	-1.720	-1.632	-1.676
30	1.4.	7 ⁵⁰	566	"	"	35.45	25.39	+0.130	0.000	+0.287	+0.270	+0.237	+0.266	+0.251	-1.534	-1.458	-1.414	-1.591	-1.726	-1.637	-1.681
31	14.4.	7 ⁴⁵	579	"	"	35.44	25.42	+0.126	-0.003	+0.283	+0.269	+0.236	+0.264	+0.250	-1.542	-1.467	-1.420	-1.597	-1.734	-1.644	-1.689
32	28.4.	10 ³⁰	593	"	"	35.35	25.40	+0.125	-0.003	+0.283	+0.269	+0.237	+0.266	+0.251	-1.548	-1.472	-1.427	-1.602	-1.736	-1.652	-1.694
33	28.4.	15 ¹⁵	593	"	"	35.30	25.42	+0.126	-0.002	+0.283	+0.273	+0.240	+0.267	+0.253	-1.549	-1.474	-1.429	-1.605	-1.738	-1.656	-1.697
34	3.5.	14 ⁴⁰	598	"	"	35.35	25.45	+0.129	-0.001	+0.287	+0.273	+0.241	+0.270	+0.255	-1.547	-1.473	-1.428	-1.604	-1.736	-1.654	-1.695
35	4.5.	8 ⁴⁵	599	"	"	35.36	25.45														
x) 36	4.5.	9 ¹⁰	599	"	"	17.69	13.87	-0.044	-0.121	+0.081	+0.062	+0.028	+0.066	+0.047	-1.169	-1.069	-1.069	-1.161	-1.258	-1.191	-1.214
37	4.5	10 ¹⁵	599	"	"	17.65	13.80	-0.044	-0.125	+0.079	+0.055	+0.021	+0.061	+0.041	-1.162	-1.057	-1.062	-1.147	-1.244	-1.175	-1.209
x) nach Belastungsende																					

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze

XII
Belastungsbeginn am : 10. 10. 1969

Herstellungstag: 11.9.1969

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- peratur °C	Luft- feuchtigkeit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{a7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{i1} 10^{-3}	ϵ_{i2} 10^{-3}	ϵ_{i3} 10^{-3}	ϵ_{i4} 10^{-3}	ϵ_{i5} 10^{-3}	ϵ_{i6} 10^{-3}	$\epsilon_{i7} = 0.5 \cdot (\epsilon_{i5} + \epsilon_{i6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	10.10.69	11 ⁰¹	0.0	~20	~65																
1	10.10.	12 ¹⁵	0.0	"	"	14.61	11.48	+0.181	+0.134	+0.372	+0.125	+0.142	+0.238	+0.140	-0.584	-0.589	-0.646	-0.686	-0.575	-0.739	-0.657
2	10.10.	15 ⁵⁷	0.1	"	"	16.69	13.00	+0.171	+0.240	+0.440	+0.272	+0.243	+0.250	+0.246	-0.663	-0.709	-0.772	-0.843	-0.695	-0.850	-0.772
3	11.10.	10 ³⁰	1	"	"	10.61	15.14	+0.206	+0.191	+0.532	+0.461	+0.280	+0.343	+0.296	-0.699	-0.783	-0.853	-0.906	-0.795	-0.955	-0.875
4	12.10.	9 ³⁰	2	"	"	21.32	16.39	+0.229	+0.322	+0.589	+0.637	+0.301	+0.350	+0.325	-0.691	-0.825	-0.892	-0.959	-0.851	-1.011	-0.931
5	13.10.	9 ⁰⁵	3	"	"	22.85	17.46	+0.244	+0.342	+0.630	+0.781	+0.315	+0.376	+0.345	-0.686	-0.857	-0.917	-0.997	-0.892	-1.050	-0.971
6	17.10.	15 ⁴⁵	7	"	"	26.11	19.81	+0.284	+0.409	+0.648	+1.099	+0.356	+0.460	+0.408	-0.705	-0.944	-0.989	-1.104	-1.007	-1.159	-1.083
7	24.10.	15 ⁴⁷	14	"	"	29.79	22.45	+0.317	+0.472	+0.882	+1.270	+0.398	+0.545	+0.471	-0.758	-1.040	-1.082	-1.221	-1.133	-1.282	-1.207
8	30.10.	15 ⁵⁵	20	"	"	31.89	24.03	+0.331	+0.508	+0.960	+1.322	+0.449	+0.593	+0.506	-0.799	-1.100	-1.150	-1.294	-1.213	-1.363	-1.288
9	4.11.	10 ⁰⁰	25	"	"	34.98	26.03	+0.365	+0.581	+1.134	+1.415	+0.469	+0.695	+0.586	-0.823	-1.127	-1.178	-1.337	-1.253	-1.418	-1.335
10	4.11.	15 ²⁰	25	"	"	35.72	26.56	+0.372	+0.595	+1.160	+1.490	+0.478	+0.712	+0.595	-0.841	-1.147	-1.204	-1.362	-1.278	-1.446	-1.362
11	10.11.	15 ⁰²	31	"	"	38.54	28.61	+0.399	+0.649	+1.262	+1.461	+0.518	+0.781	+0.649	-0.905	-1.226	-1.299	-1.455	-1.382	-1.555	-1.468
12	28.11.	12 ⁰⁰	49	"	"	43.93	32.45	+0.449	+0.752	+1.480	+1.543	+0.576	+0.927	+0.761	-1.014	-1.371	-1.467	-1.626	-1.572	-1.751	-1.661
13	27.1.70	11 ⁵⁰	109	"	"	51.90	41.82	+0.613	+1.058		+1.715		+1.355		-1.295	-1.749	-1.917	-2.079	-2.062	-2.281	-2.171
14	12.3.	9 ¹⁵	153	"	"	54.89	43.89	+0.610	+1.095		+1.686		+1.453		-1.346	-1.850	-2.034	-2.193	-2.188	-2.415	-2.301
15	14.4.	8 ²⁰	186	"	"	56.02	44.65	+0.609	+1.097		+1.644		+1.534		-1.354	-1.896	-2.083	-2.240	-2.240	-2.470	-2.355
16	11.5.	12 ⁰⁵	213	"	"	56.44	44.92	+0.600	+1.080		+1.657		+1.520		-1.329	-1.924	-2.110	-2.267	-2.267	-2.483	-2.374
17	29.6.	10 ⁰⁰	262	"	"	56.81	45.14	+0.571	+1.054		+1.620		+1.496		-1.303	-1.954	-2.154	-2.301	-2.308	-2.520	-2.414
18	11.8.	8 ¹⁴	305	"	"	57.17	45.37	+0.555	+1.045		+1.604		+1.477		-1.258	-1.982	-2.186	-2.330	-2.340	-2.548	-2.444
19	7.9.	12 ³⁵	332	"	"	57.49															
20	26.10.	11 ³⁰	381	"	"	57.92	46.42	+0.556	+1.058		+1.555		+1.505		-1.097	-2.002	-2.207	-2.348	-2.358	-2.575	-2.466
21	6.11.	9 ¹⁰	392	"	"	57.48	45.59	+0.558	+1.060		+1.551		+1.508		-1.073	-2.006	-2.211	-2.352	-2.362	-2.580	-2.471
22	8.12.	11 ³⁰	424	"	"	57.66	45.84	+0.562	+1.068		+1.547		+1.517		-0.968	-2.011	-2.221	-2.360	-2.367	-2.587	-2.477
23	28.1.71	12 ¹⁵	475	"	"	58.03	46.09	+0.564	+1.078		+1.531		+1.547		-0.779	-2.022	-2.232	-2.369	-2.377	-2.600	-2.489
24	16.3.	16 ¹⁰	494	"	"	58.50	46.28														
25	18.3.	9 ¹⁰	524	"	"	58.51	46.41	+0.566	+1.084		+1.501		+1.676		-0.545	-2.036	-2.249	-2.378	-2.391	-2.619	-2.505
26	1.4.	7 ⁵⁰	538	"	"	58.54	46.44	+0.560	+1.080		+1.500		+1.664		-0.453	-2.041	-2.255	-2.382	-2.395	-2.621	-2.508
27	14.4.	7 ⁴⁵	551	"	"	58.53	46.46	+0.557	+1.081		+1.492		+1.664		-0.350	-2.046	-2.262	-2.374	-2.401	-2.632	-2.516
28	18.4.	10 ³⁵	566	"	"	58.48	46.46	+0.557	+1.082		+1.486		+1.684		-0.212	-2.051	-2.267	-2.398	-2.403	-2.635	-2.519

Tafel
Werte der Langzeitversuche an der Stütze XII

Herstellungstag: 11.9.1969

Belastungsbeginn am: 10.10.1969

lf. Nr.	Da- tum	Uhr- zeit	Be- lastungs- dauer [Tage]	Tem- pera- tur °C	Luft- feuchtig- keit %	γ_2 mm	γ_3 mm	ϵ_{a1} 10^{-3}	ϵ_{a2} 10^{-3}	ϵ_{a3} 10^{-3}	ϵ_{a4} 10^{-3}	ϵ_{a5} 10^{-3}	ϵ_{a6} 10^{-3}	$\epsilon_{am} = 0.5 \cdot (\epsilon_{a5} + \epsilon_{a6})$ 10^{-3}	ϵ_{e1} 10^{-3}	ϵ_{e2} 10^{-3}	ϵ_{e3} 10^{-3}	ϵ_{e4} 10^{-3}	ϵ_{e5} 10^{-3}	ϵ_{e6} 10^{-3}	$\epsilon_{em} = 0.5 \cdot (\epsilon_{e5} + \epsilon_{e6})$ 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
x) 29	18.4.71	13 ¹⁴	565	~20	~65	34.29	29.22														
30	18.4.	13 ¹⁸	565	"	"	34.13	28.97														
31	18.4.	13 ³⁰	565	"	"	21.04	20.13														
32	18.4.	13 ³⁵	565	"	"	9.88	8.17														
33	18.4.	14 ⁴⁰	565	"	"	8.52	6.69	-0.007	+0.299	+0.668	+0.781	+0.131	+0.257	+0.194							
x) nach Belastungsende																					

6. Nebenversuche

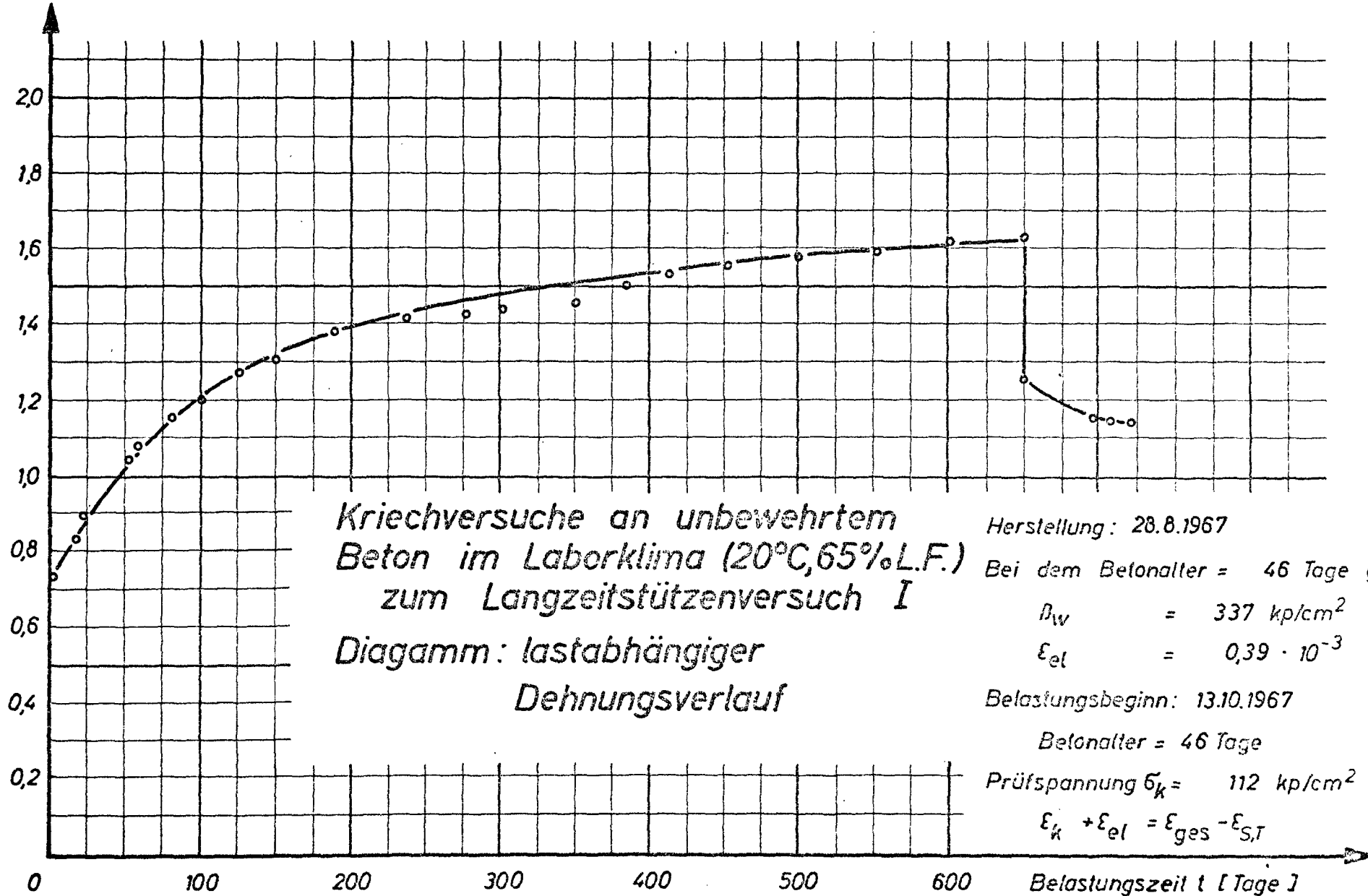
In diesem Abschnitt sind die in den begleitenden Nebenversuchen gewonnenen Werte zusammengestellt.

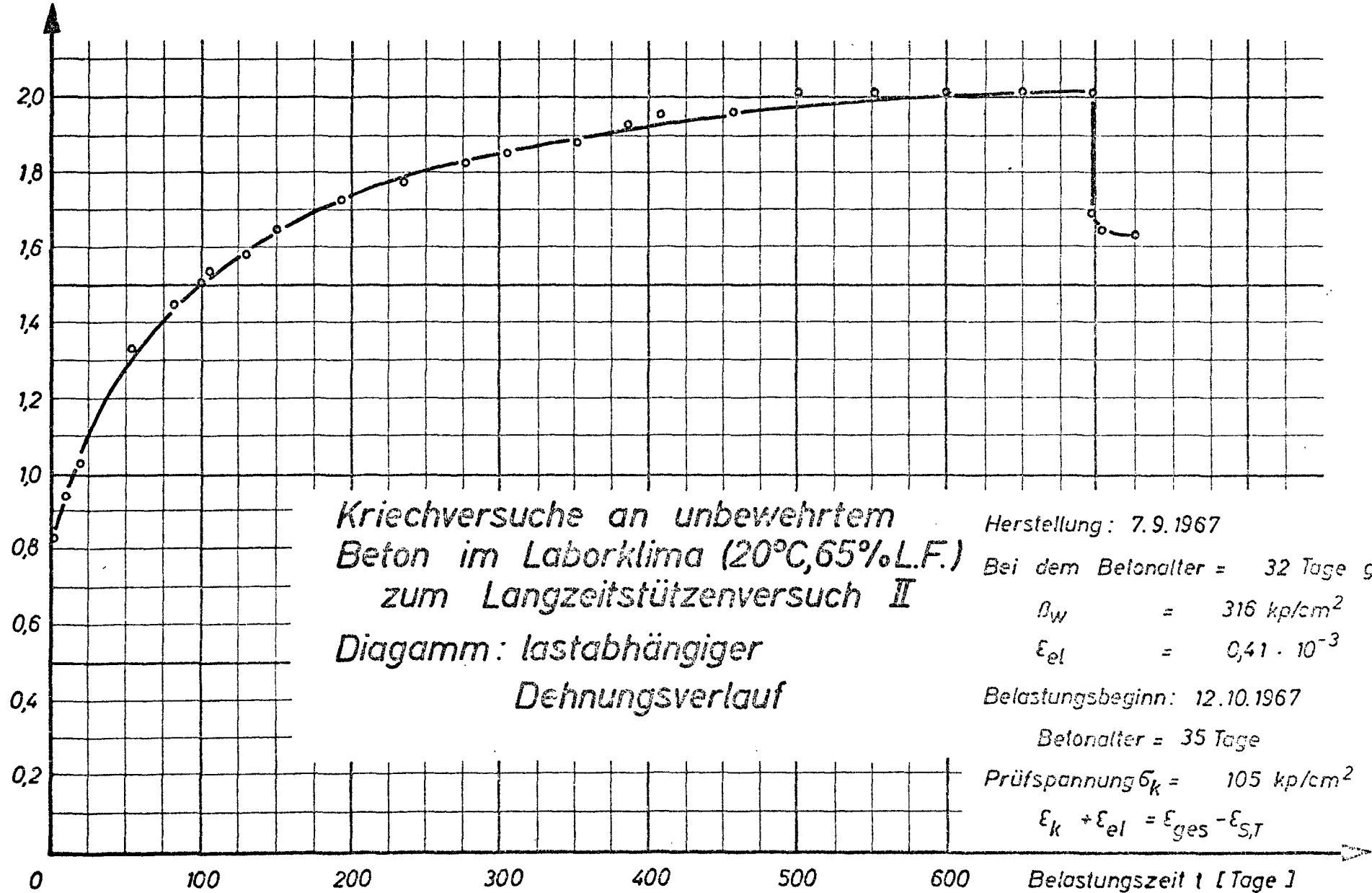
Es sind dies:

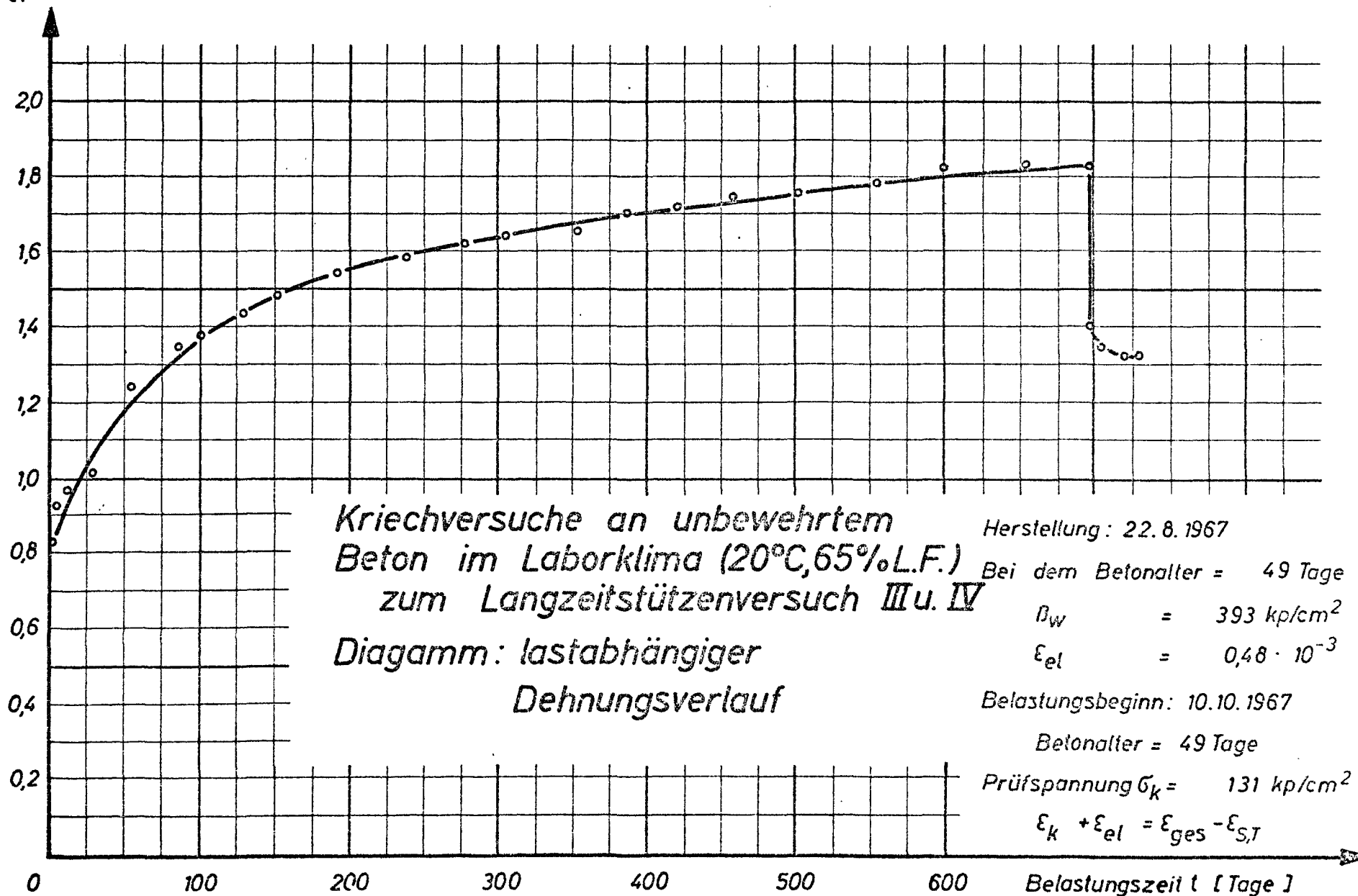
- Graphische Darstellung der in Nebenversuchen gewonnenen Kriech- und Schwindwerte (Bilder 6.1 - 6.11 und 6.12 - 6.22).
- Ermittlung von φ_{∞} nach Ross (Bilder 6.23 - 6.33)
- Betonfestigkeitsprüfungen
- Beton-Mischungsverhältnisse
- Sieblinien
- Zementprüfung

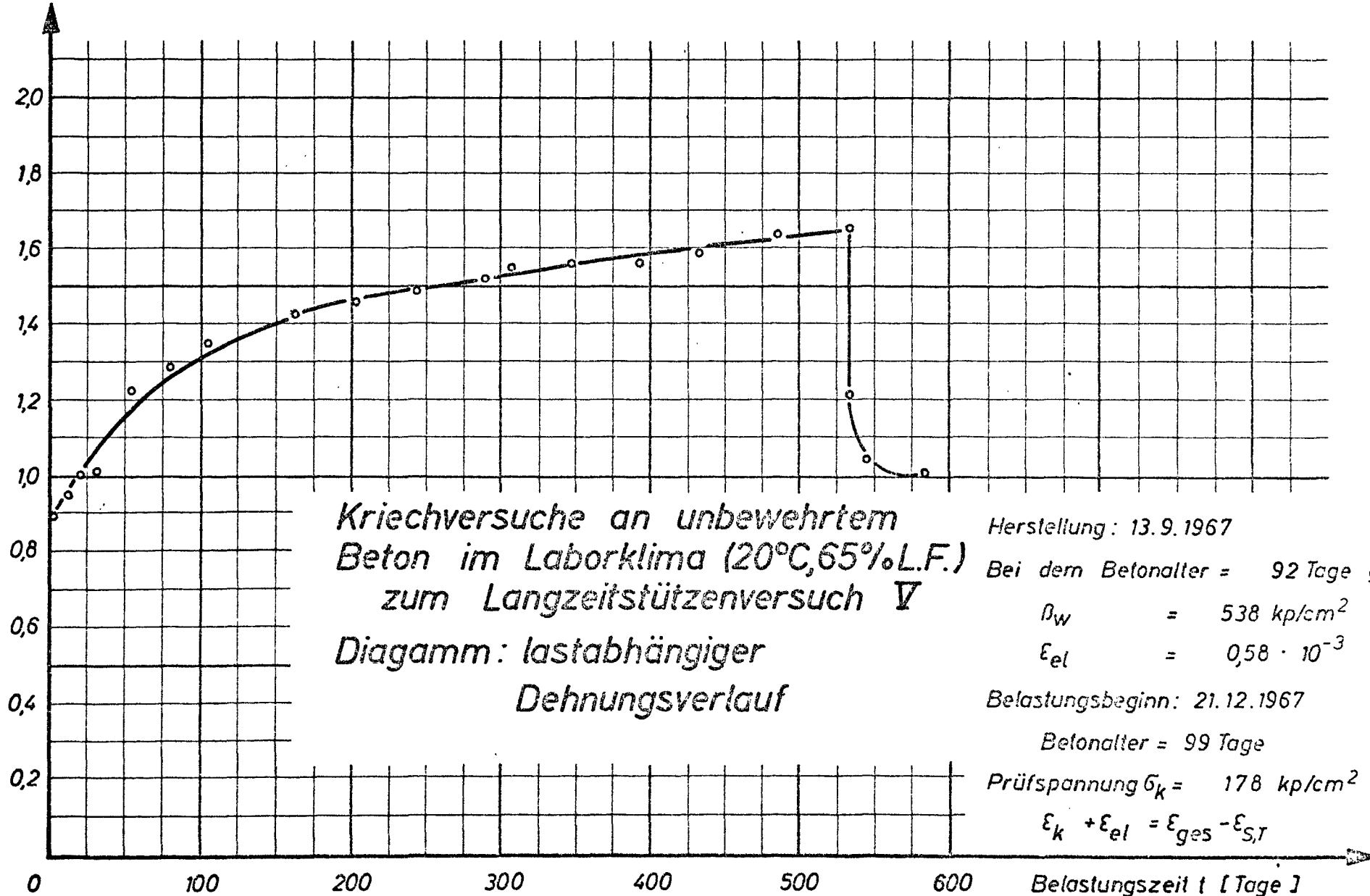
Die Langzeit-Nebenversuche wurden ebenfalls im Klimaraum und unter den gleichen Lagerungsbedingungen durchgeführt wie die Hauptversuche

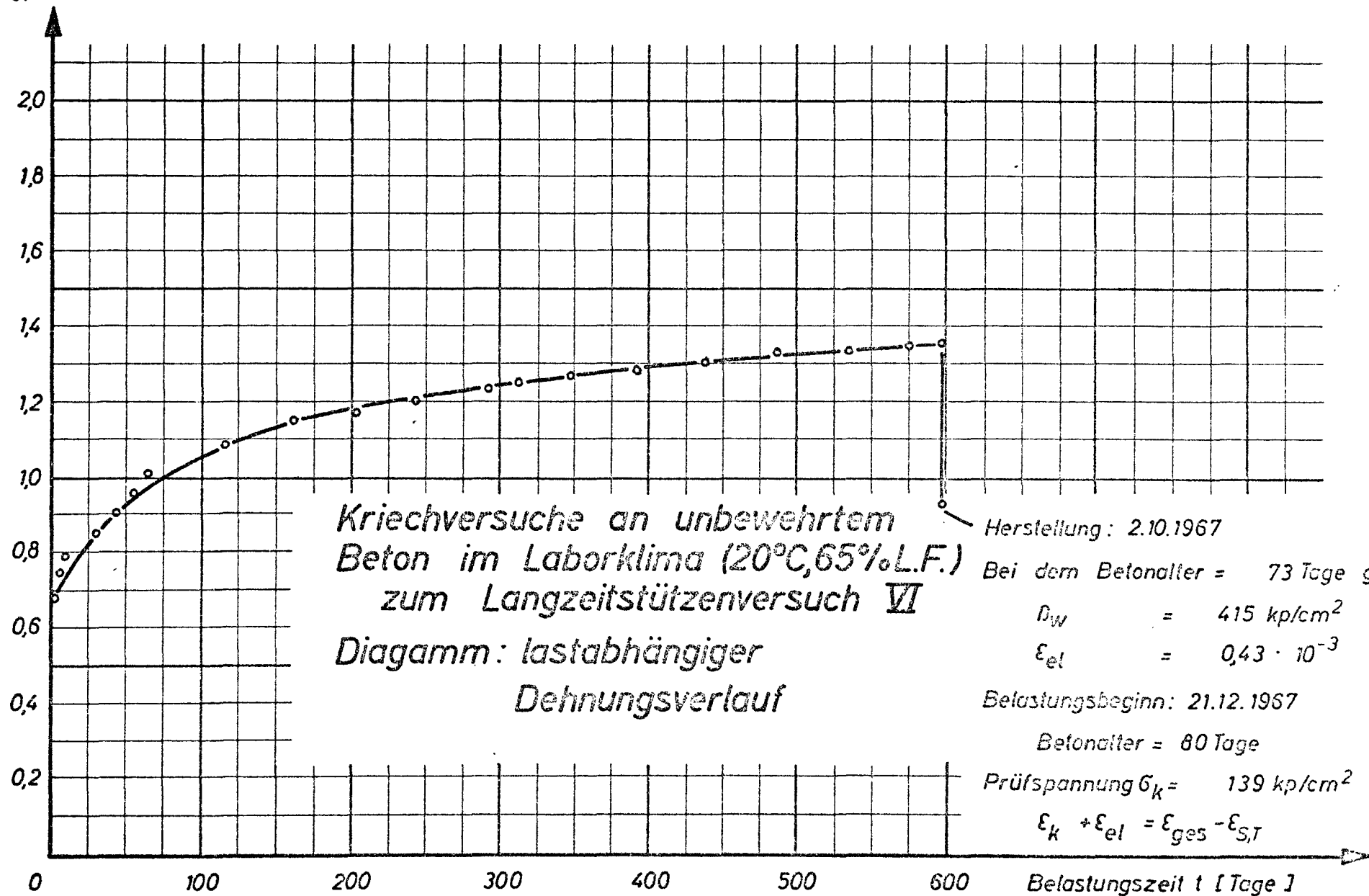
Die Kriech- und Schwind-Nebenversuche zu den Stützen I-IV wurden zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt, weil die Dauerlast-Stützen I-IV ursprünglich in Kurzzeitversuchen geprüft werden sollten, wofür solche Nebenversuche unnötig waren. Um an Bearbeitungszeit zu sparen, wurden die Kriechkörper schon in jüngerem Alter belastet und die Kriechverformungen auf das Belastungsalter der Stützen - rund 1 Jahr - umgerechnet. Hierbei konnte natürlich das Kriechverhalten der ähnlich zusammengesetzten Betone der zweiten Versuchsreihe zum Vergleich herangezogen werden, die im Alter von etwa 3 Monaten belastet wurden.

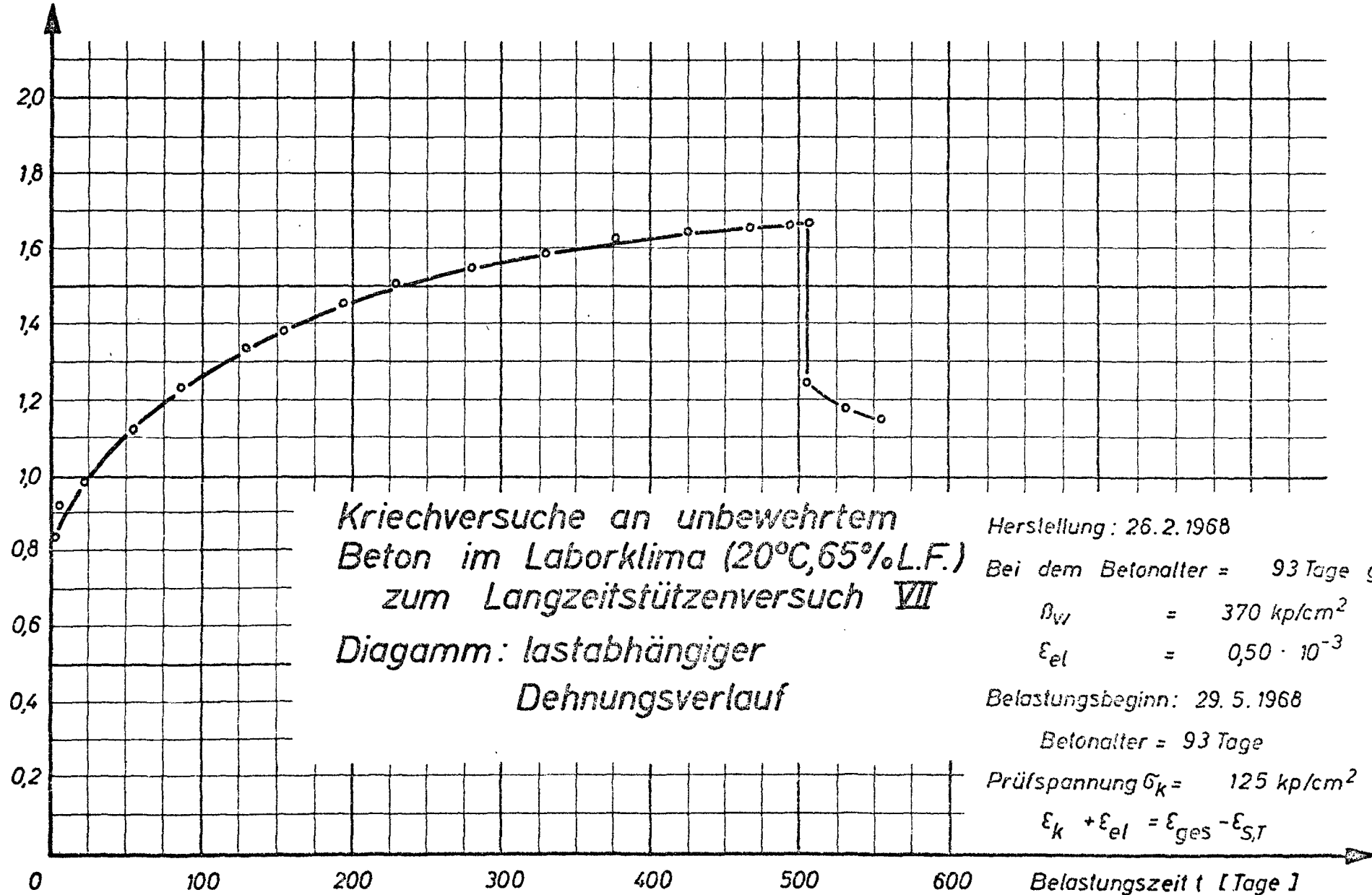
$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

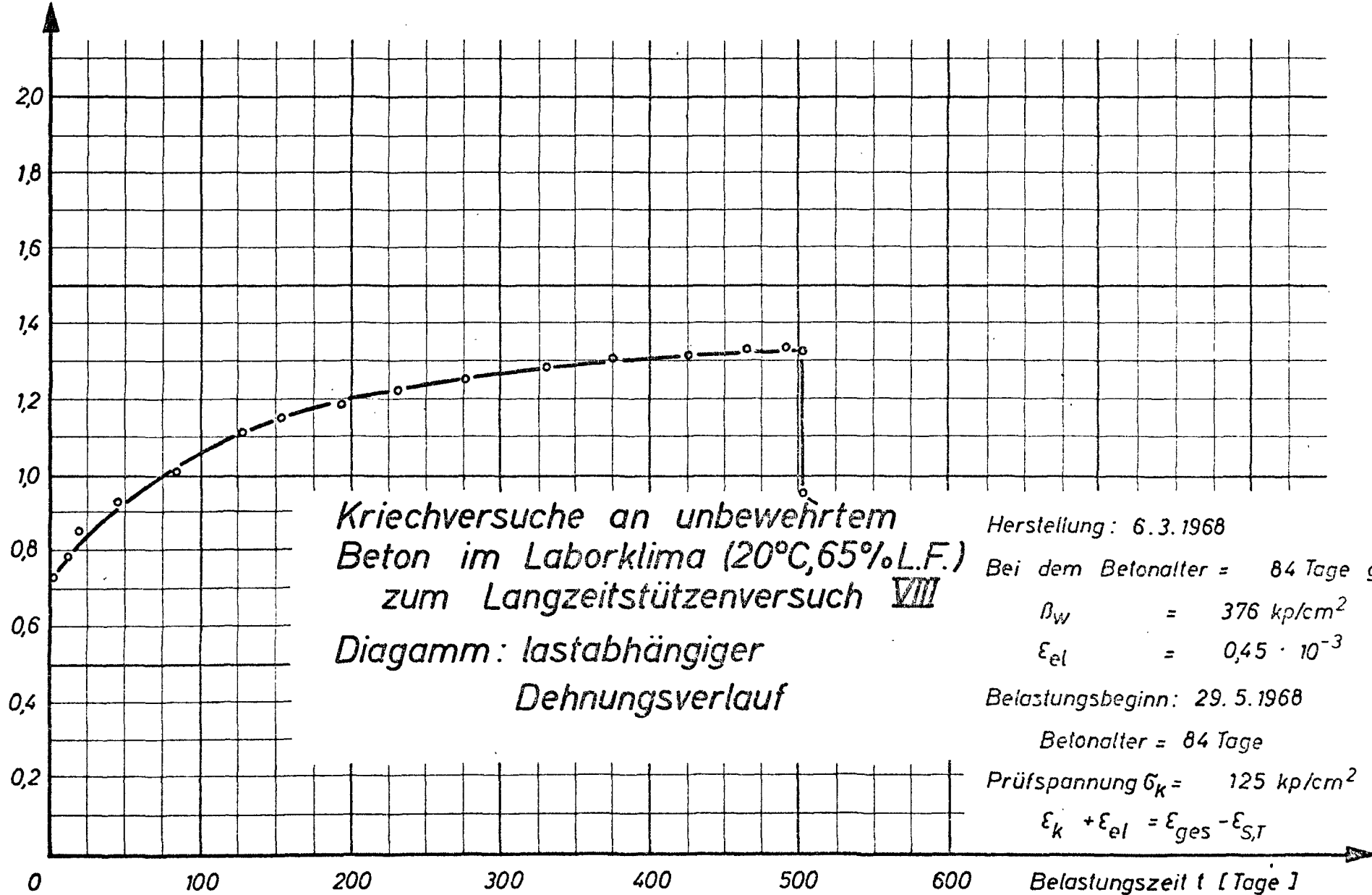
$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

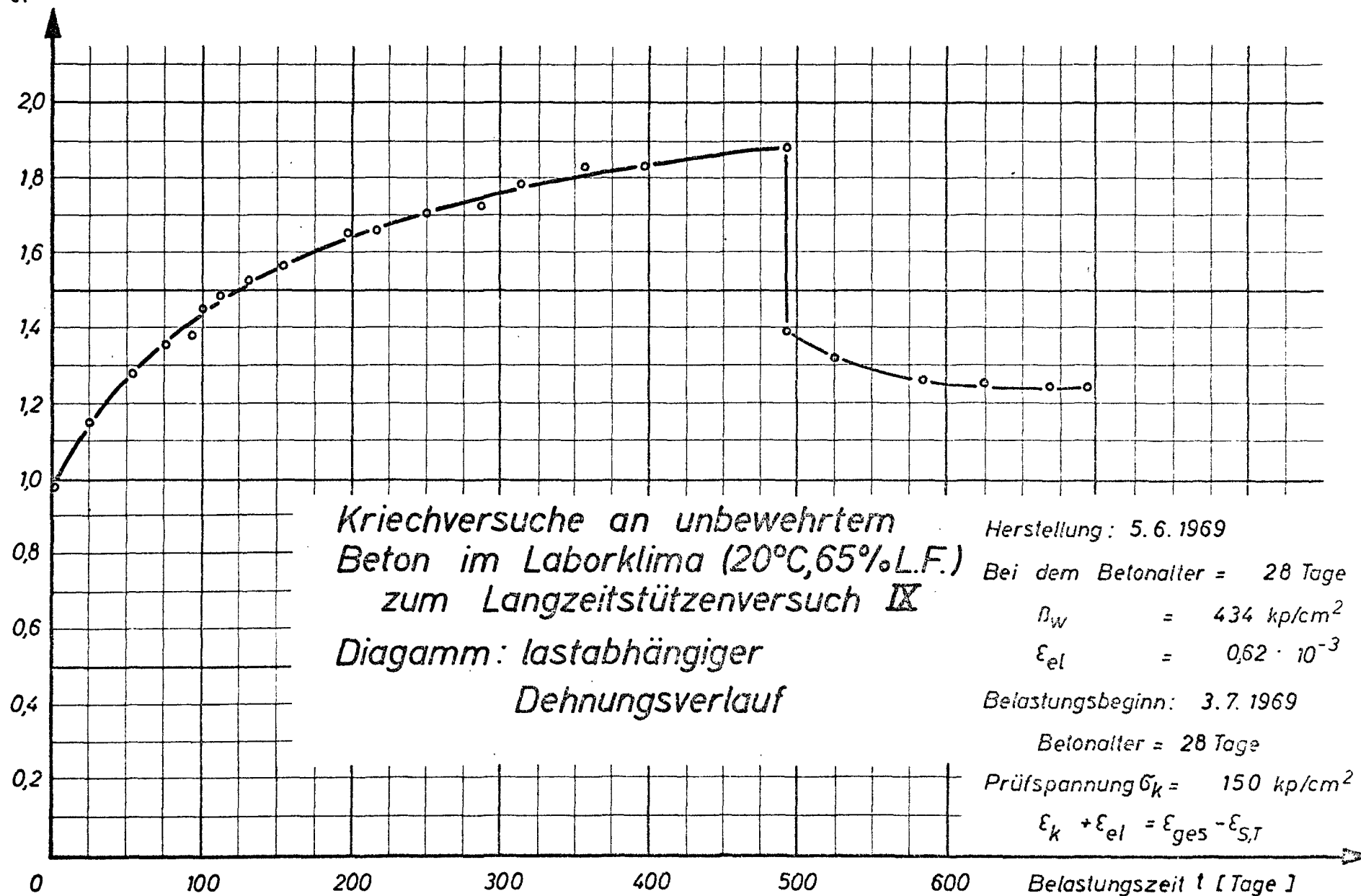
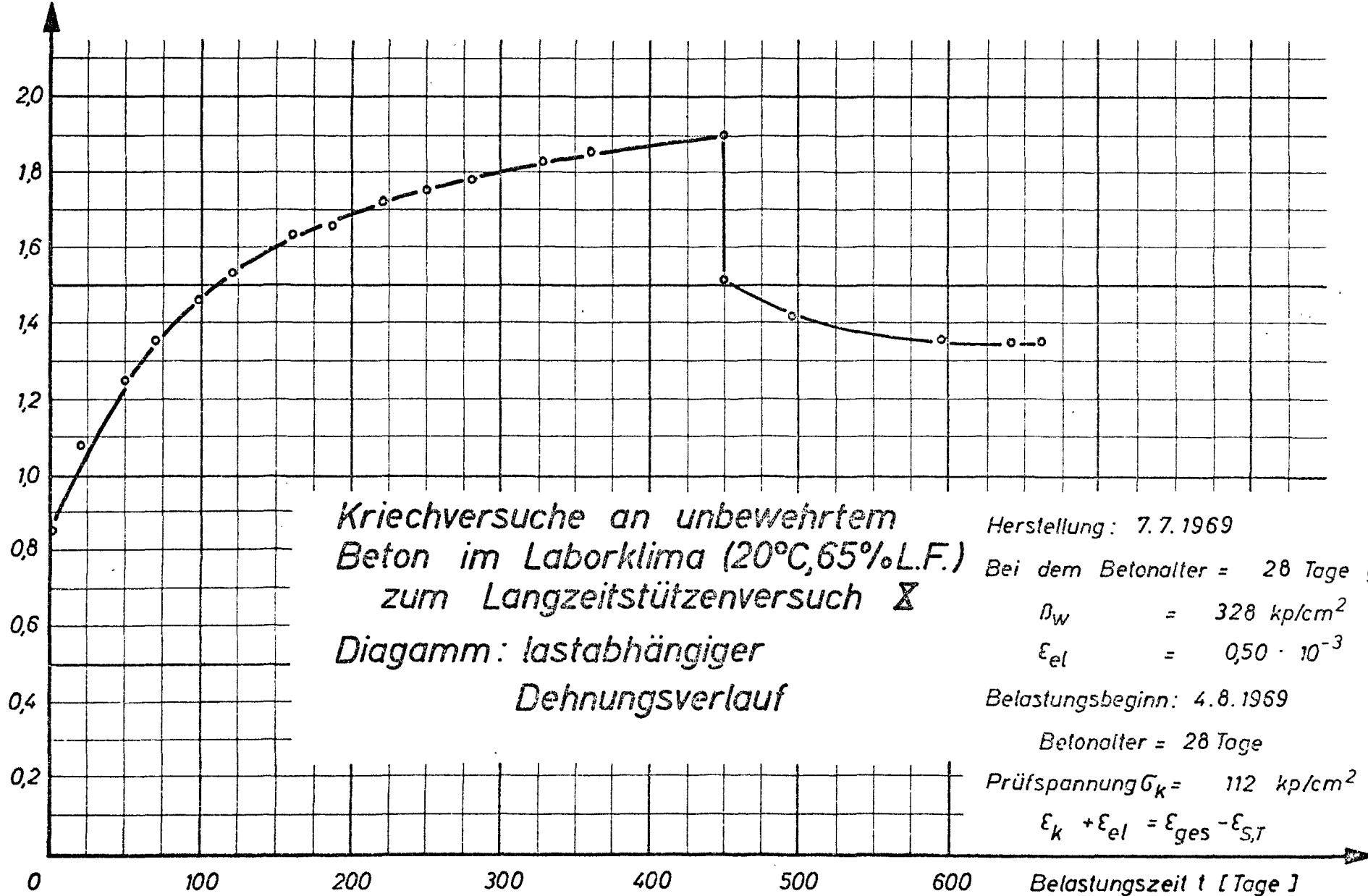
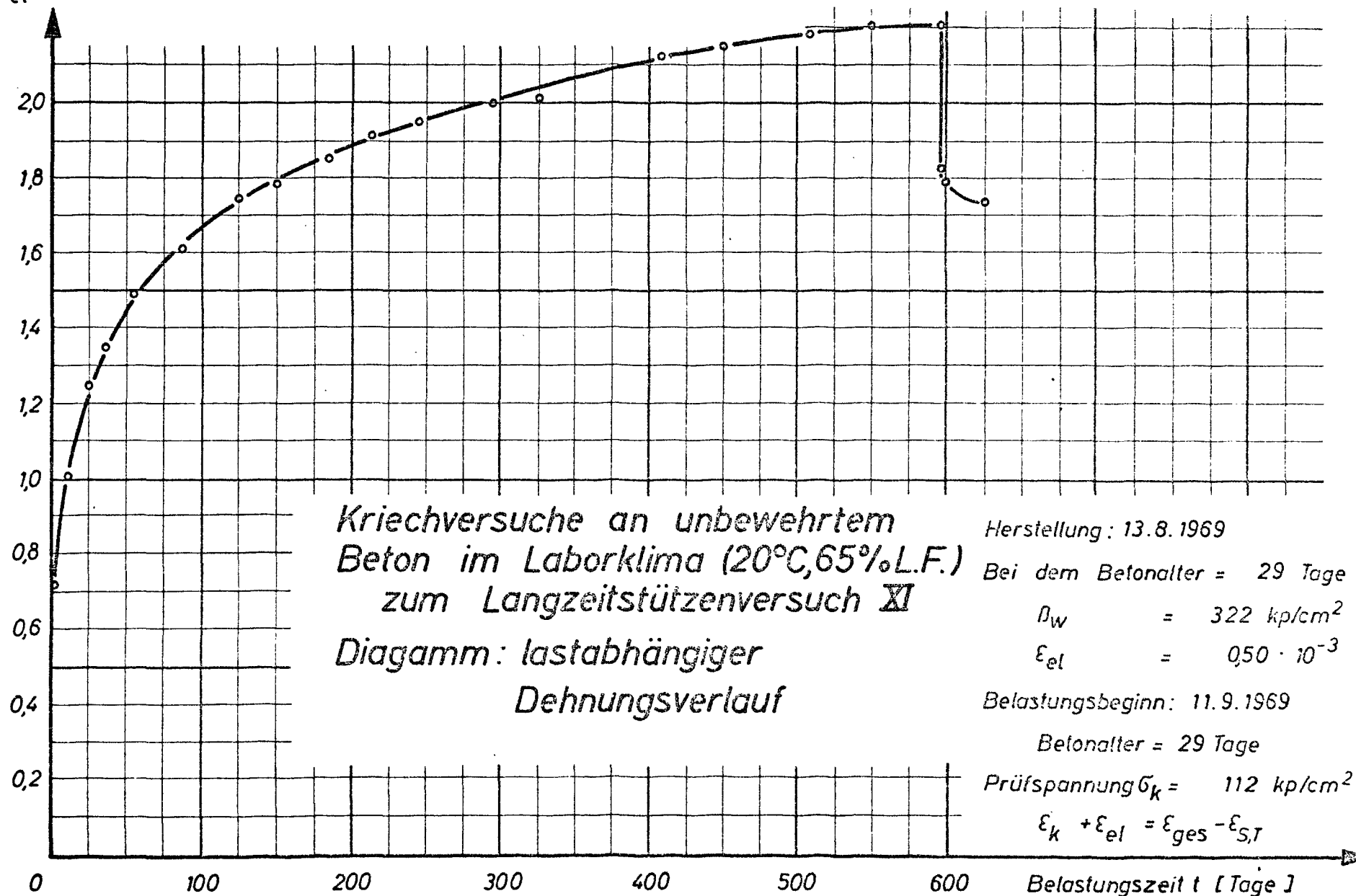
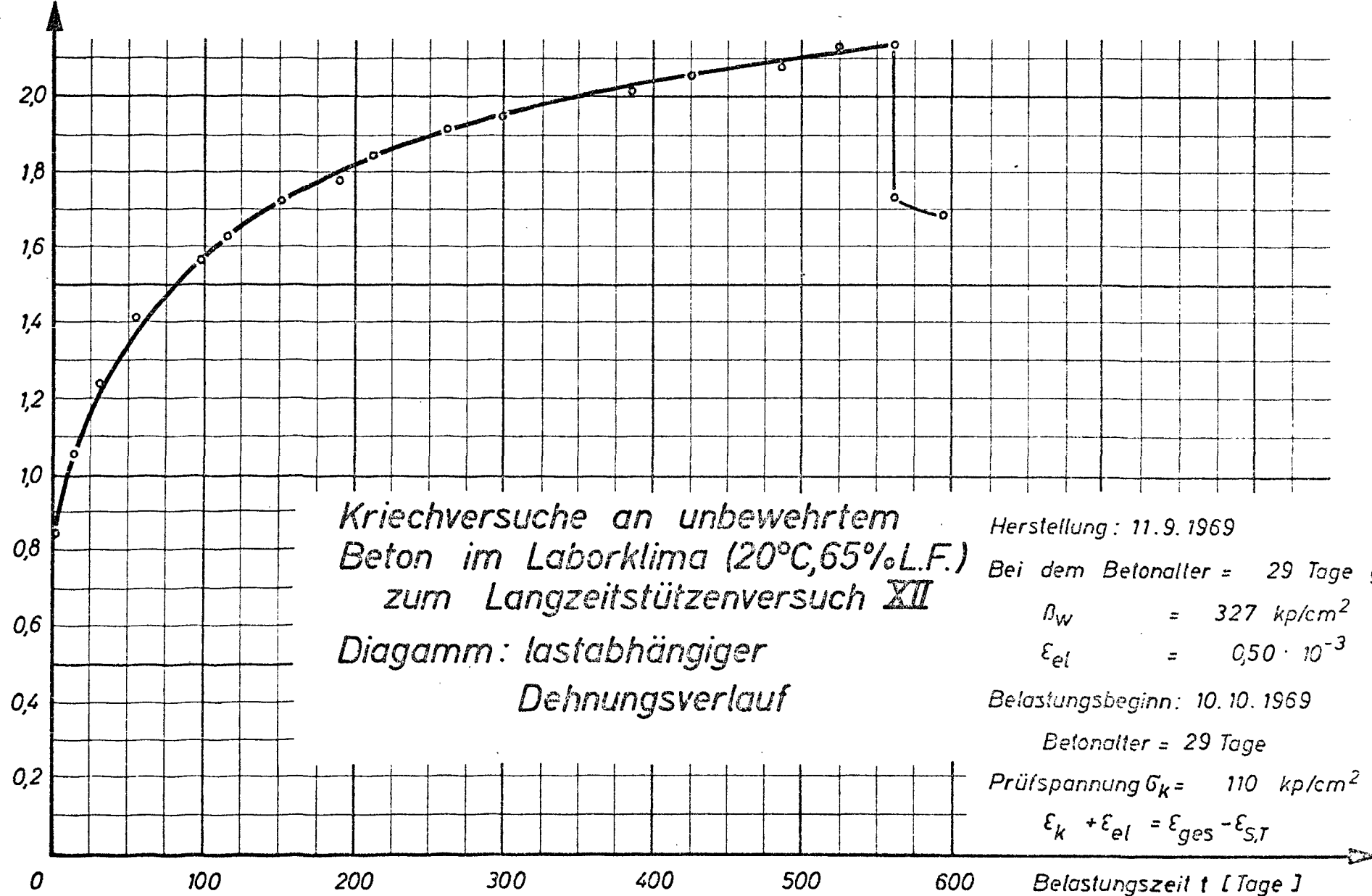
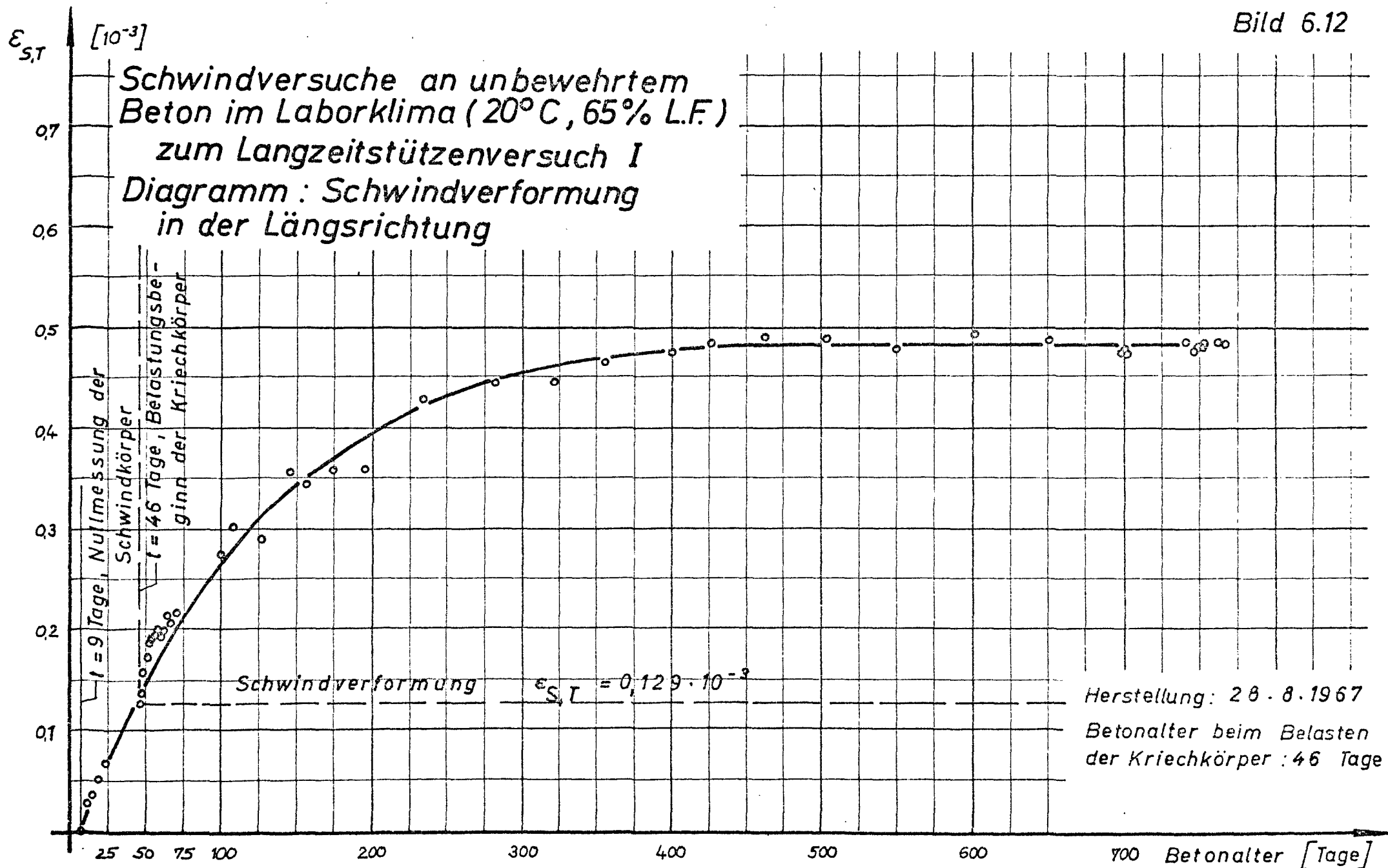
$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

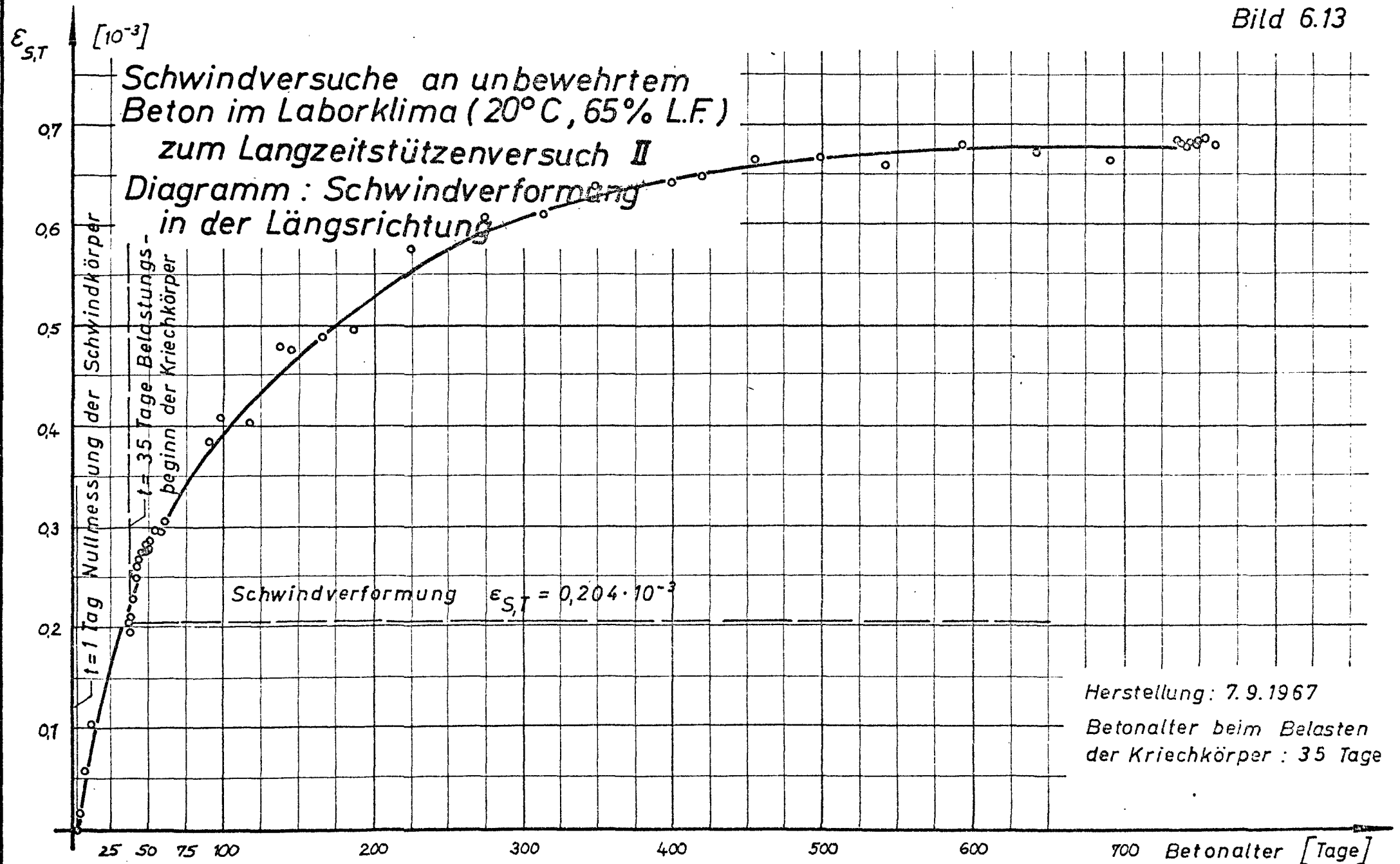
Bild 6.9

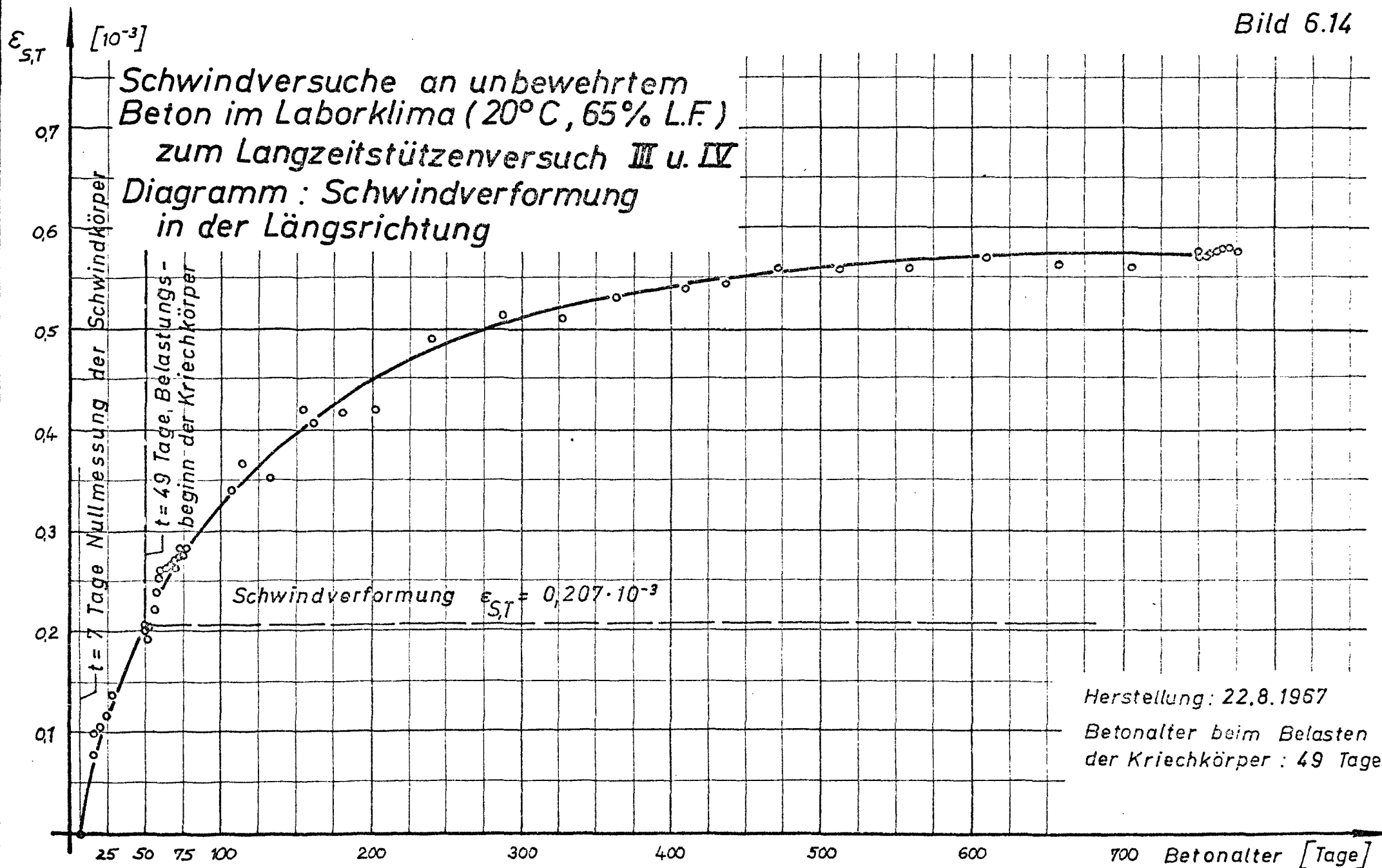
 $\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

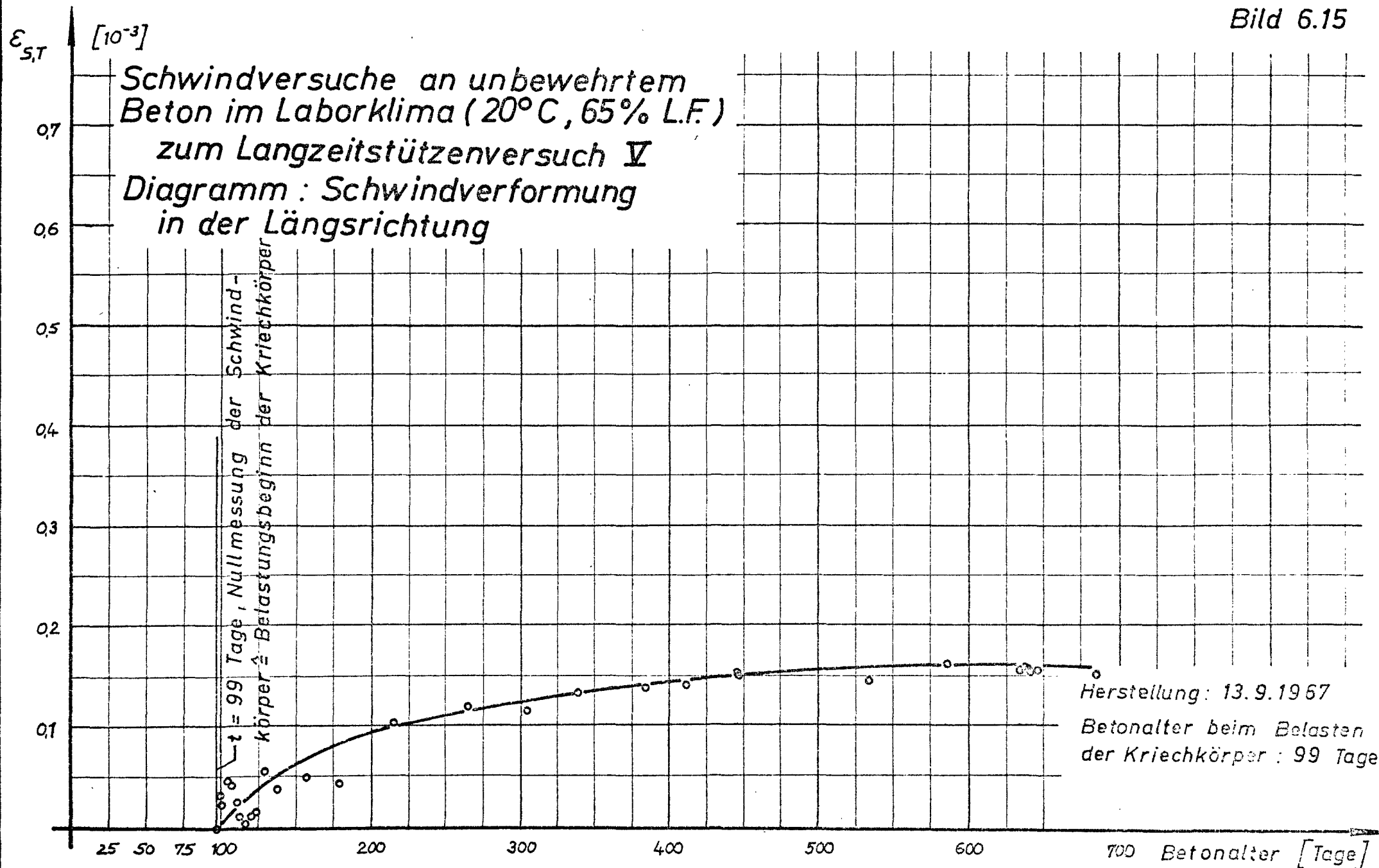
$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 

$\varepsilon_k + \varepsilon_{el} [10^{-3}]$ 



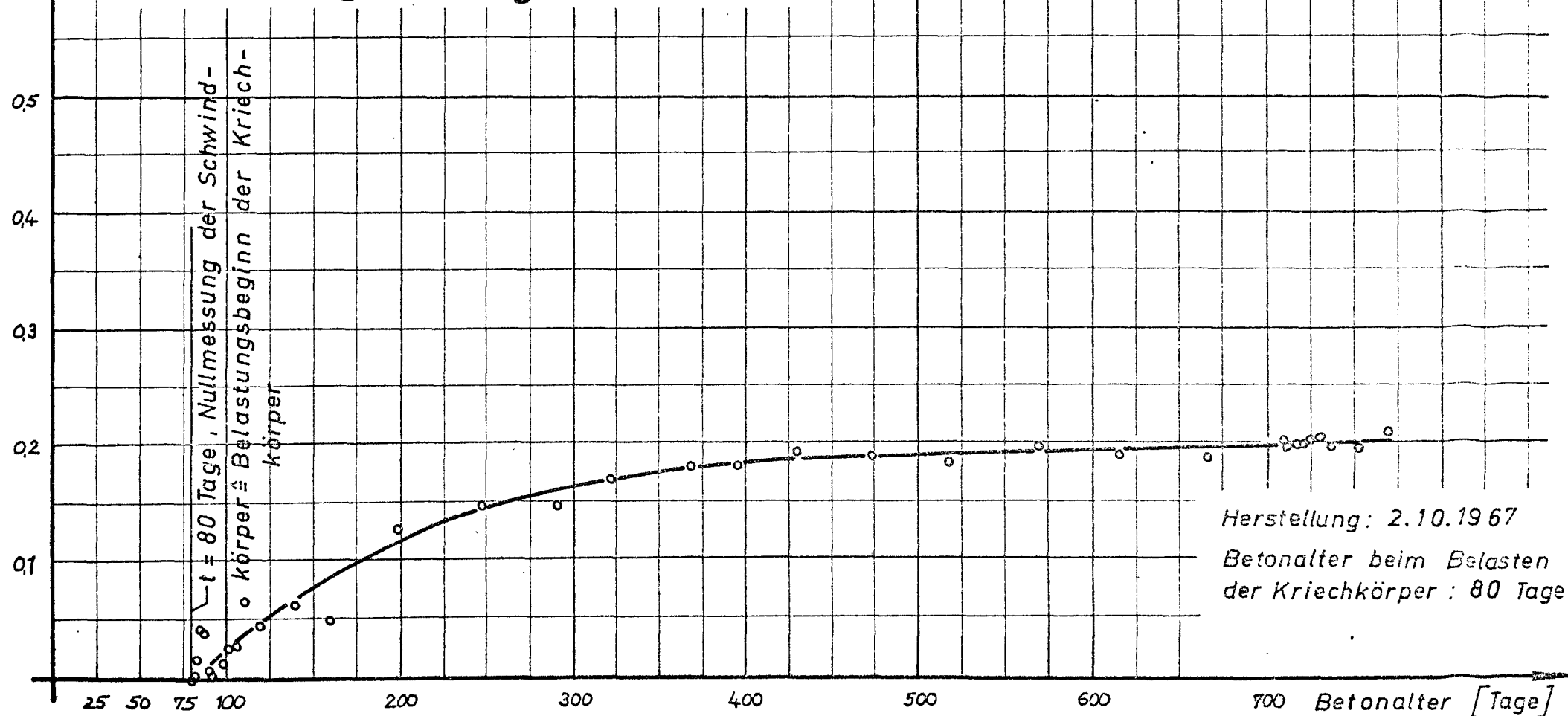


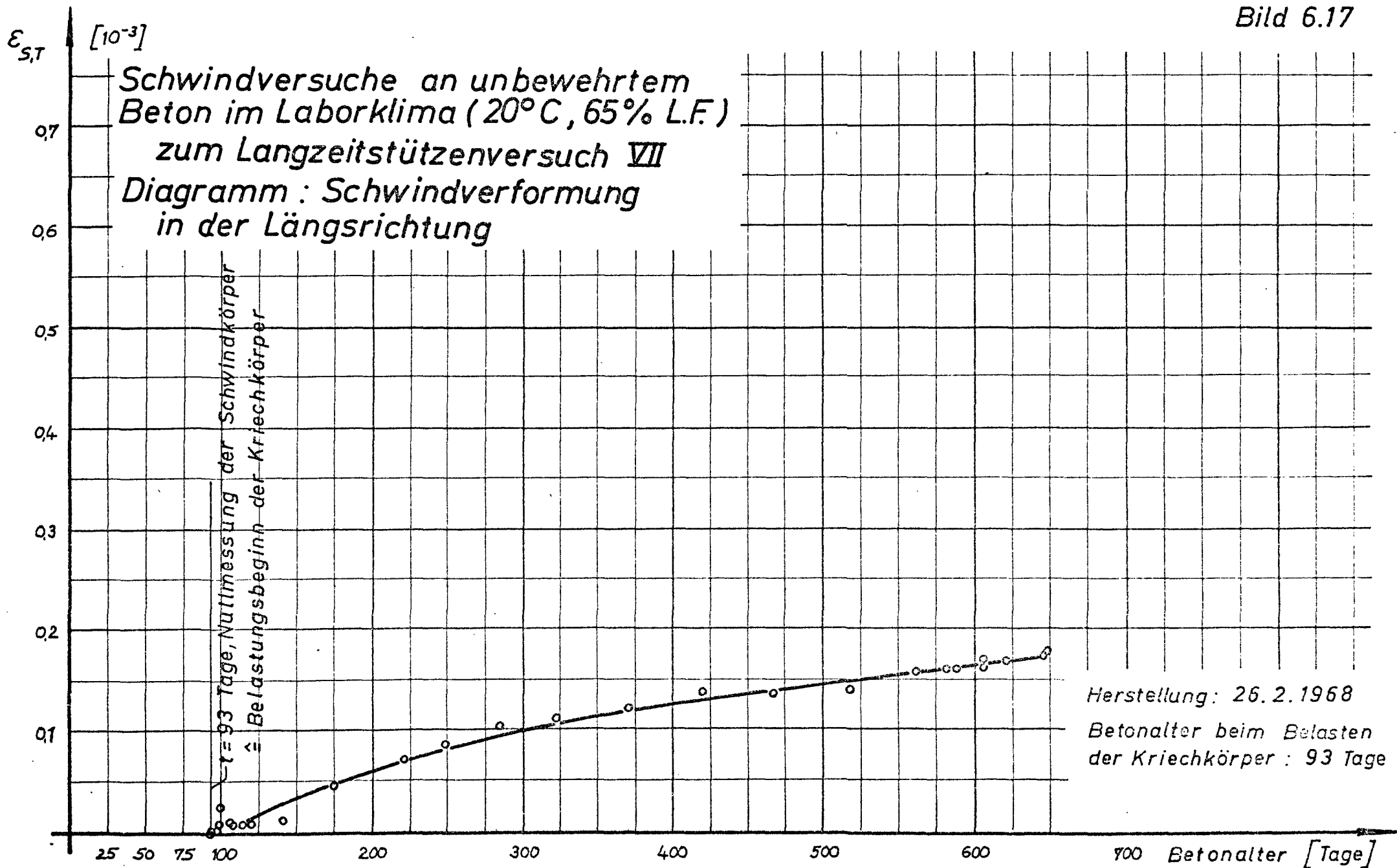


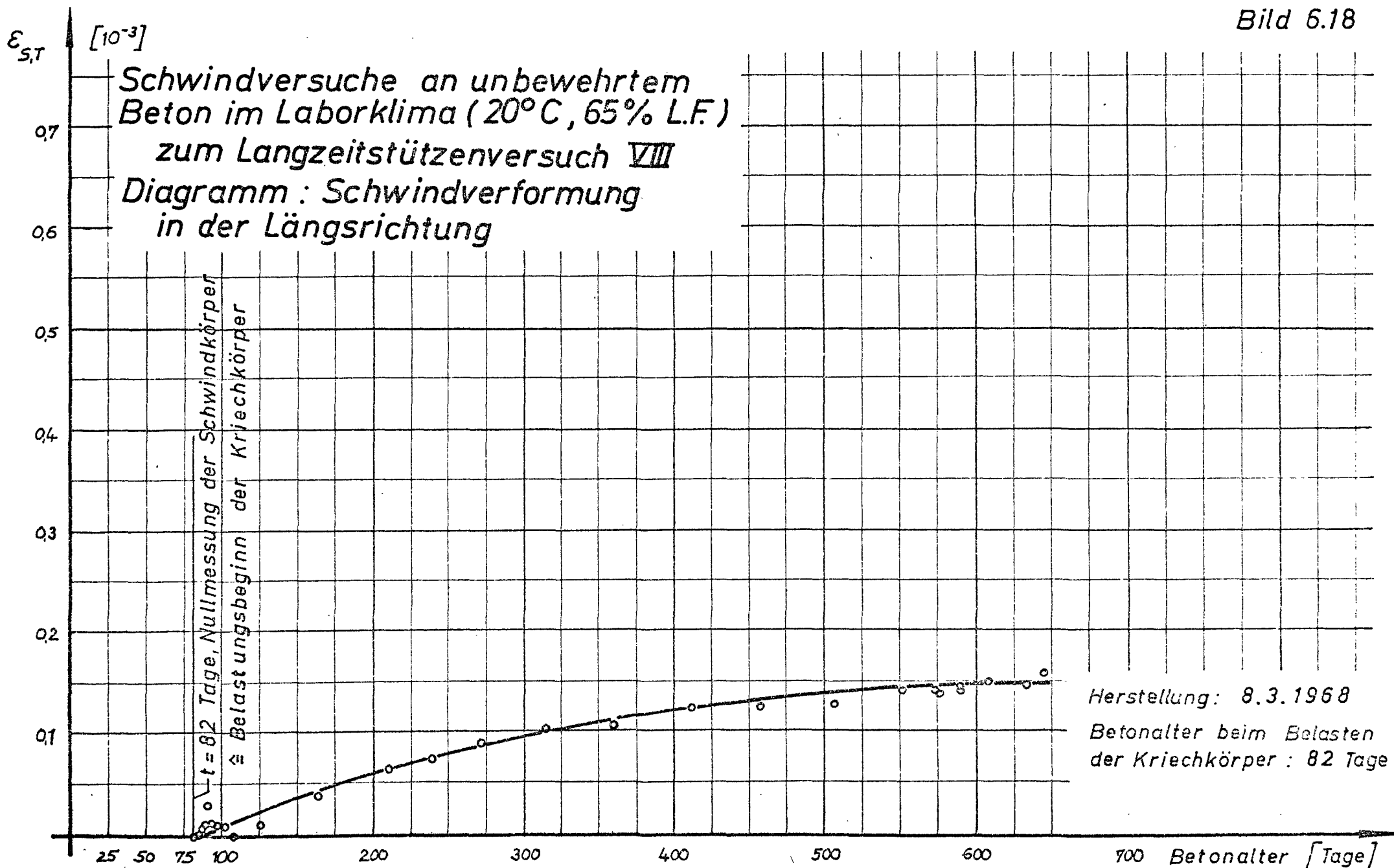


$\varepsilon_{S,T}$ $[10^{-3}]$

Schwindversuche an unbewehrtem
Beton im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch VI
Diagramm: Schwindverformung
in der Längsrichtung







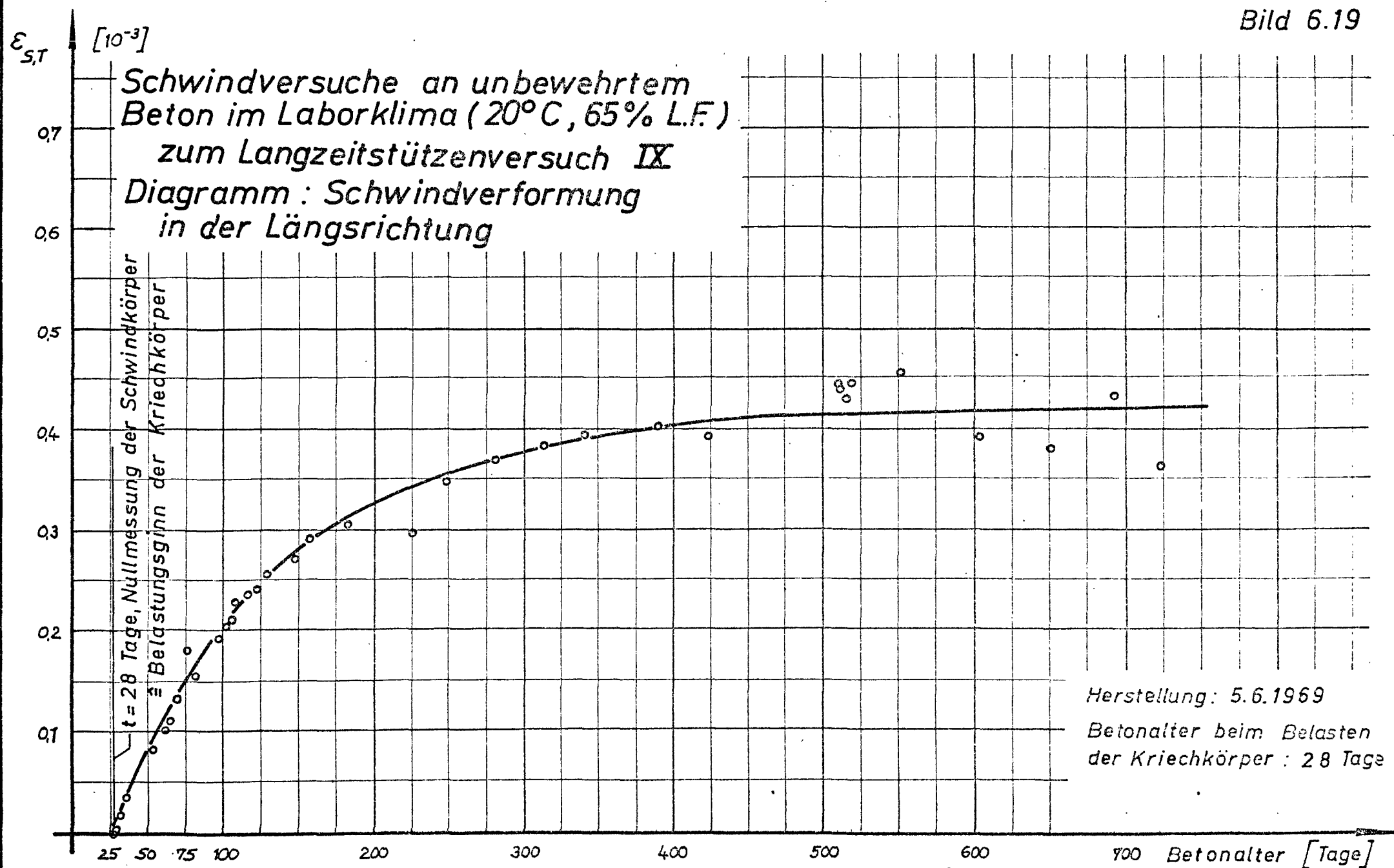


Bild 6.20

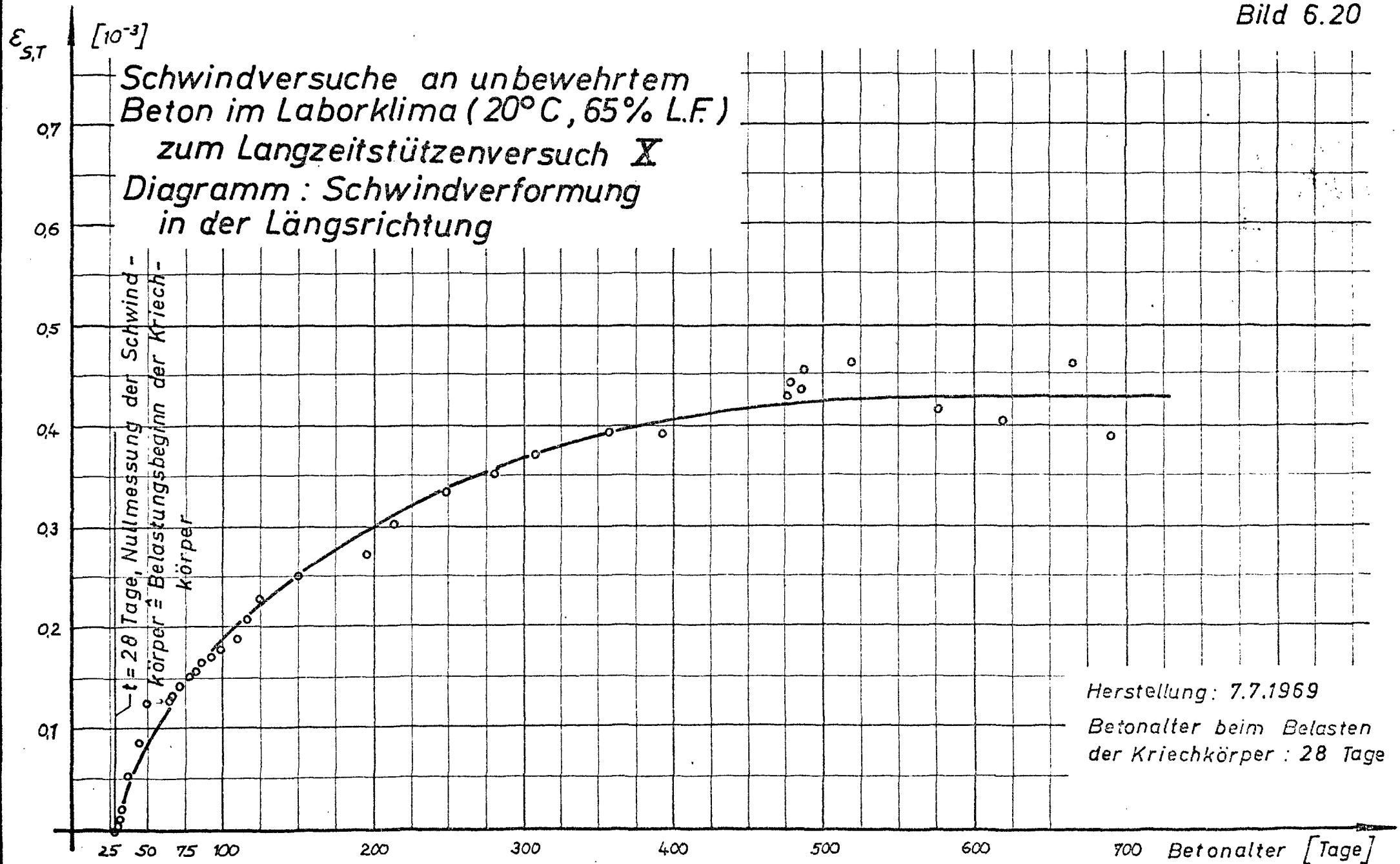
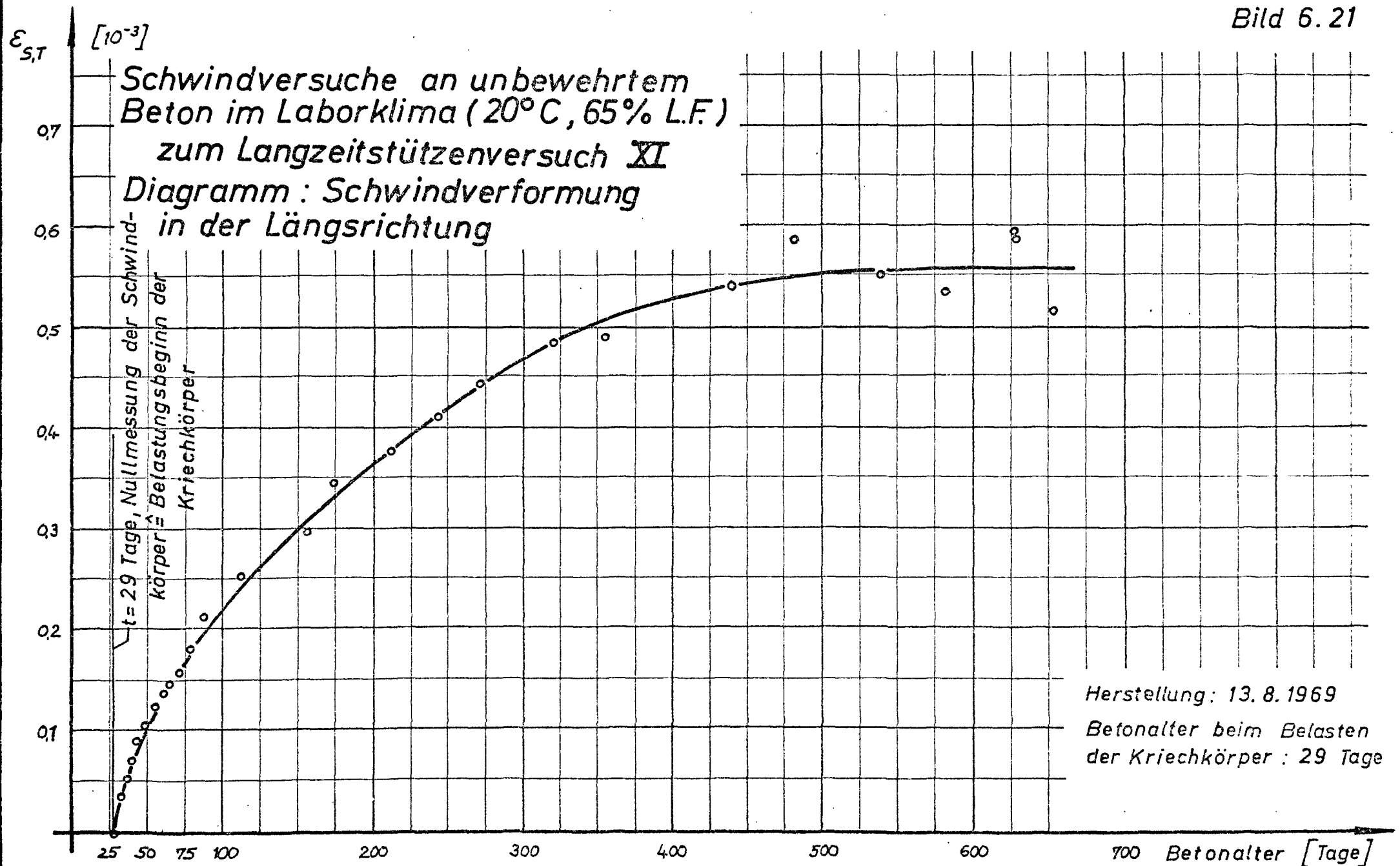
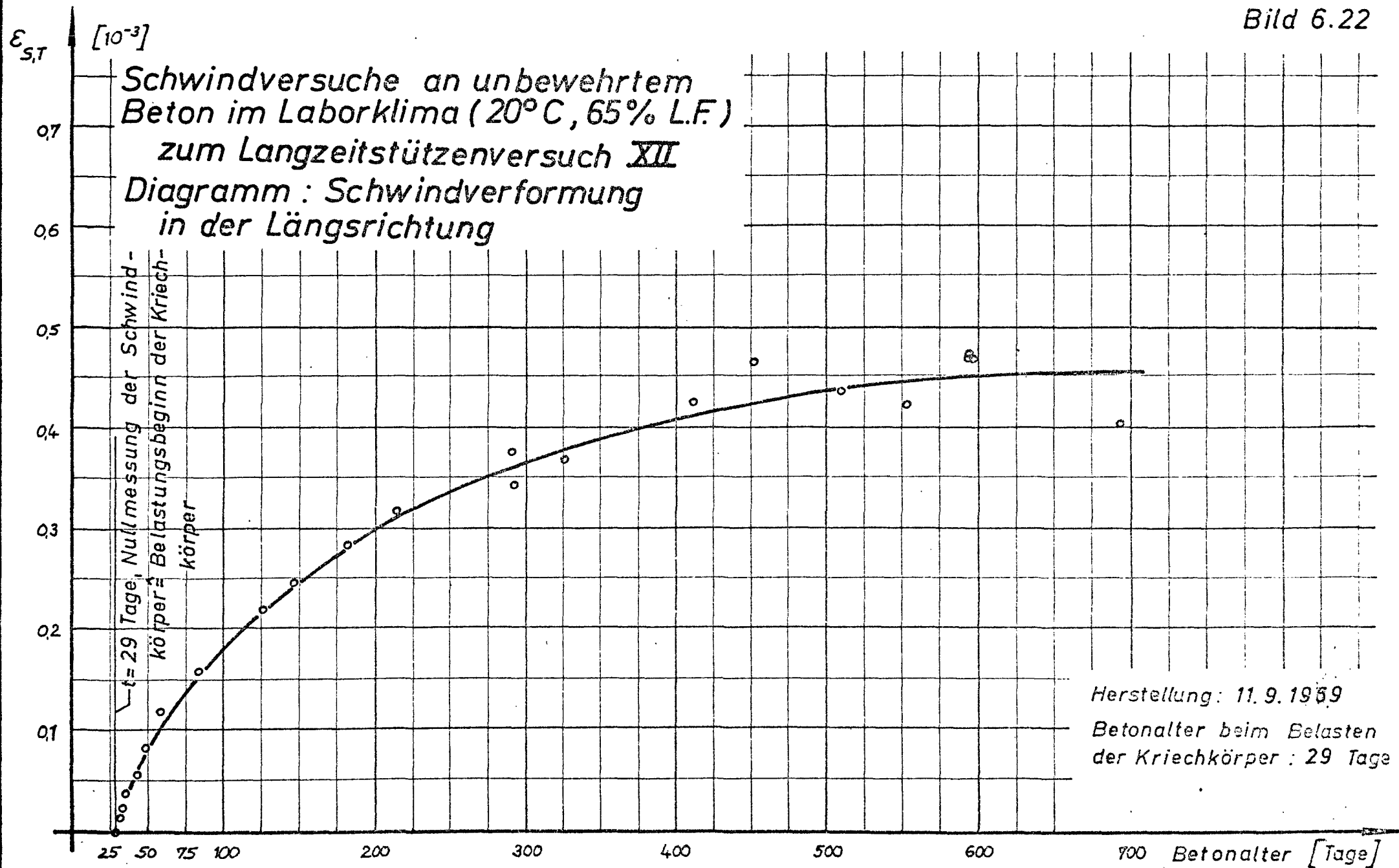
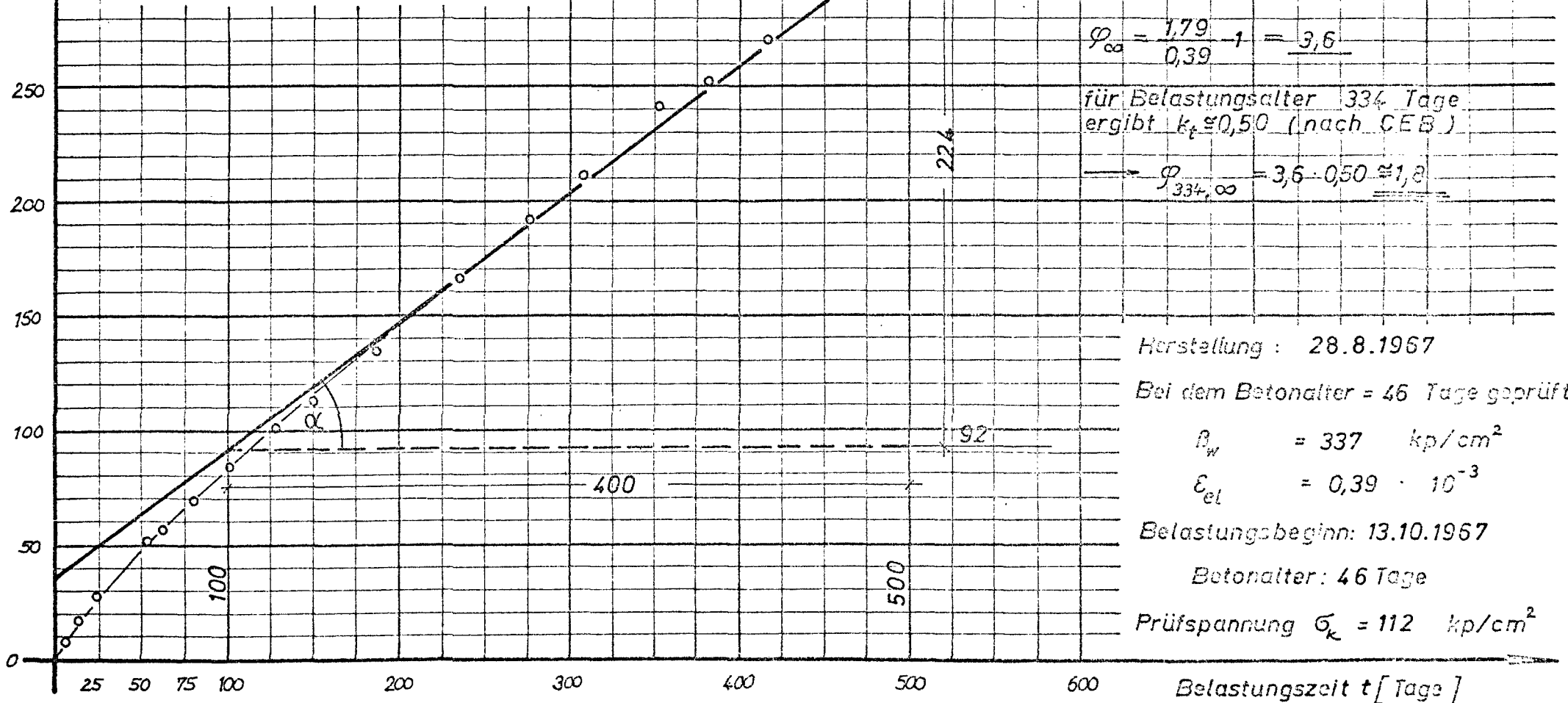


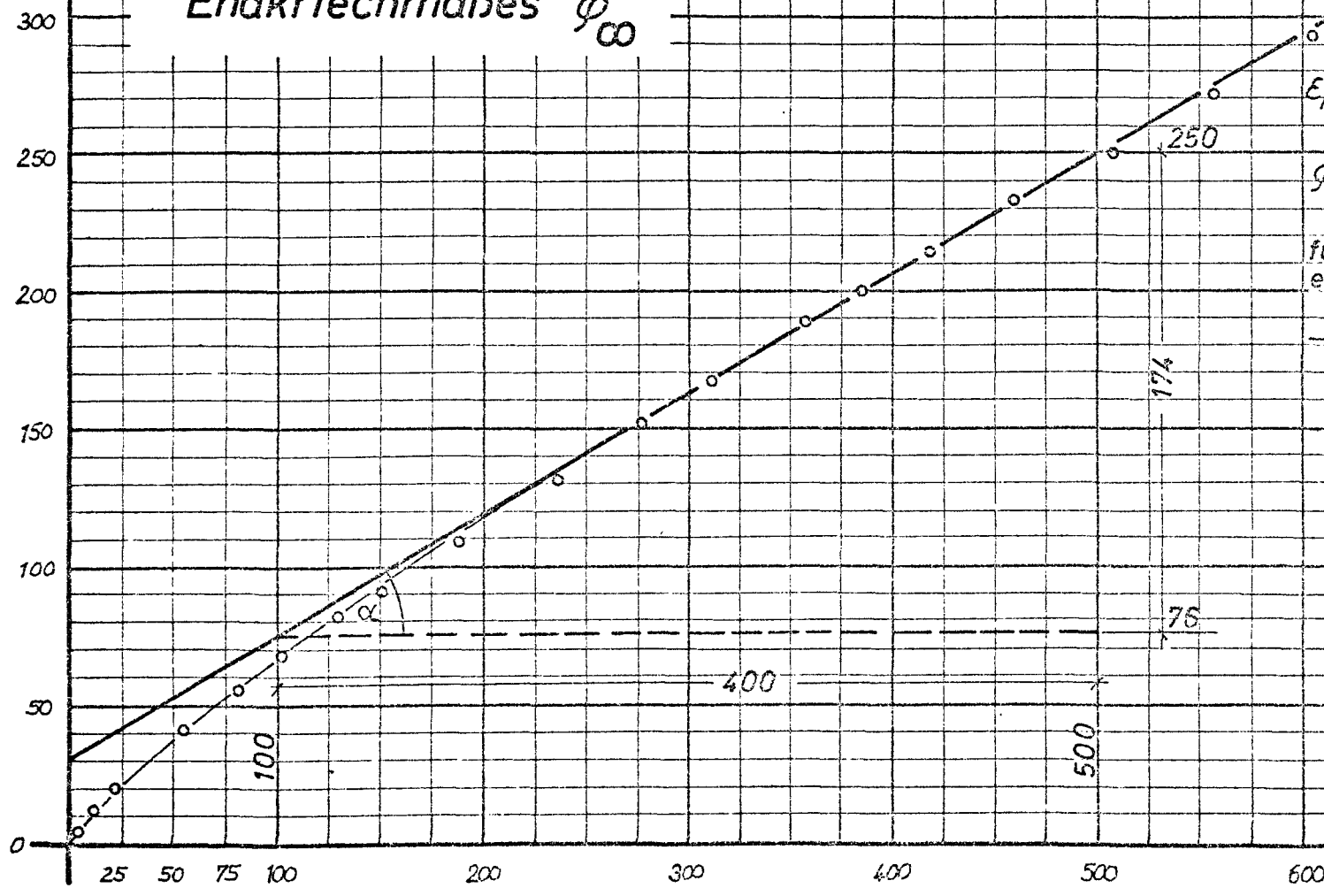
Bild 6.21







Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch II
Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{t}{\varepsilon_k + \varepsilon_{el}} = \varepsilon_{k,\infty} + \varepsilon_{el}$$

$$\varepsilon_{k,\infty} + \varepsilon_{el} = \frac{500 - 100}{250 - 76} = \frac{400}{174} = 2,30 \cdot 10^{-3}$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{2,30}{0,41} - 1 = 4,6$$

für Belastungsalter 201 Tage
ergibt $k_f \approx 0,50$ (nach CEB)

$$\varphi_{201,00} = 4,6 \cdot 0,50 \approx 2,3$$

Herstellung : 7.9.1967

Bei dem Betonalter = 32 Tage geprüft:

$$R_w = 316 \text{ kp/cm}^2$$

$$\varepsilon_{el} = 0,41 \cdot 10^{-3}$$

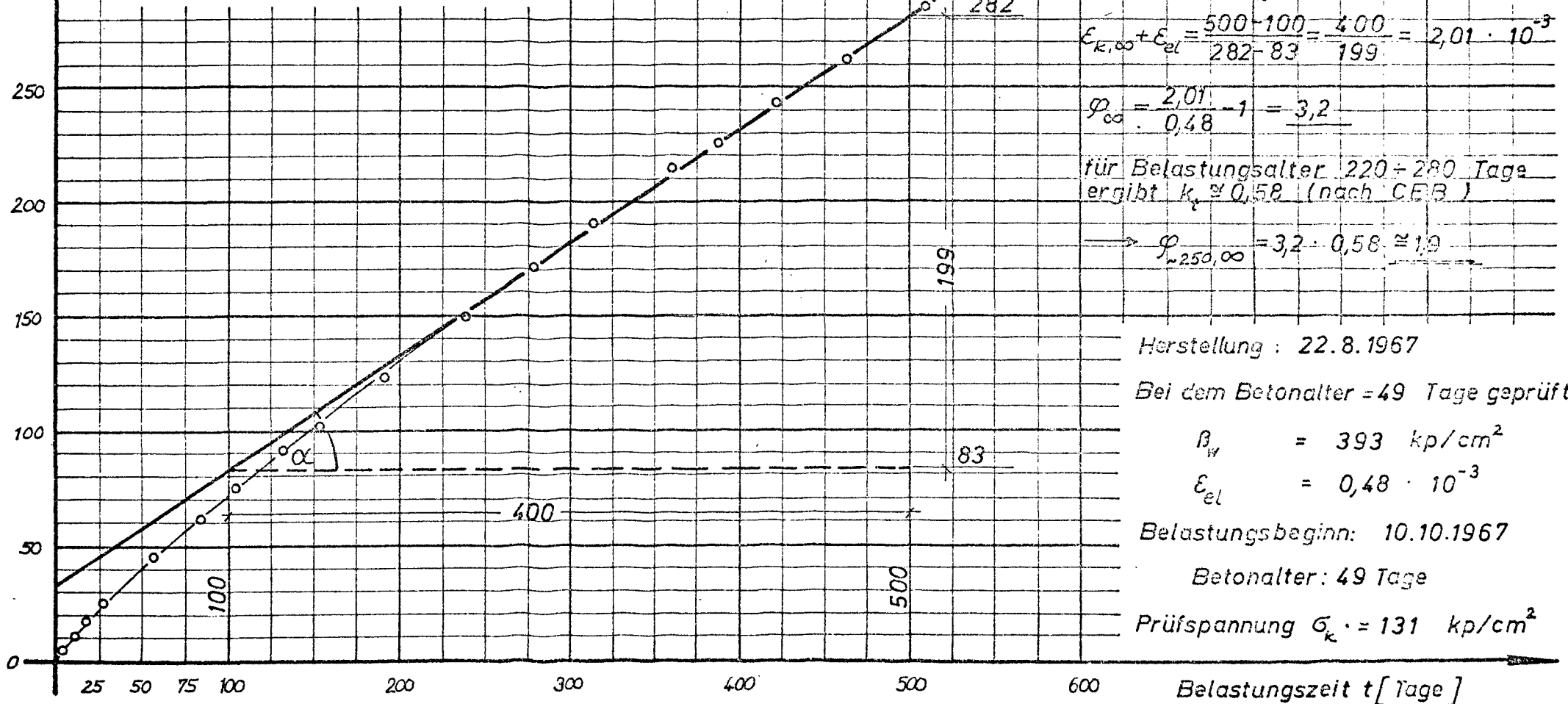
Belastungsbeginn: 12.10.1967

Betonalter: 35 Tage

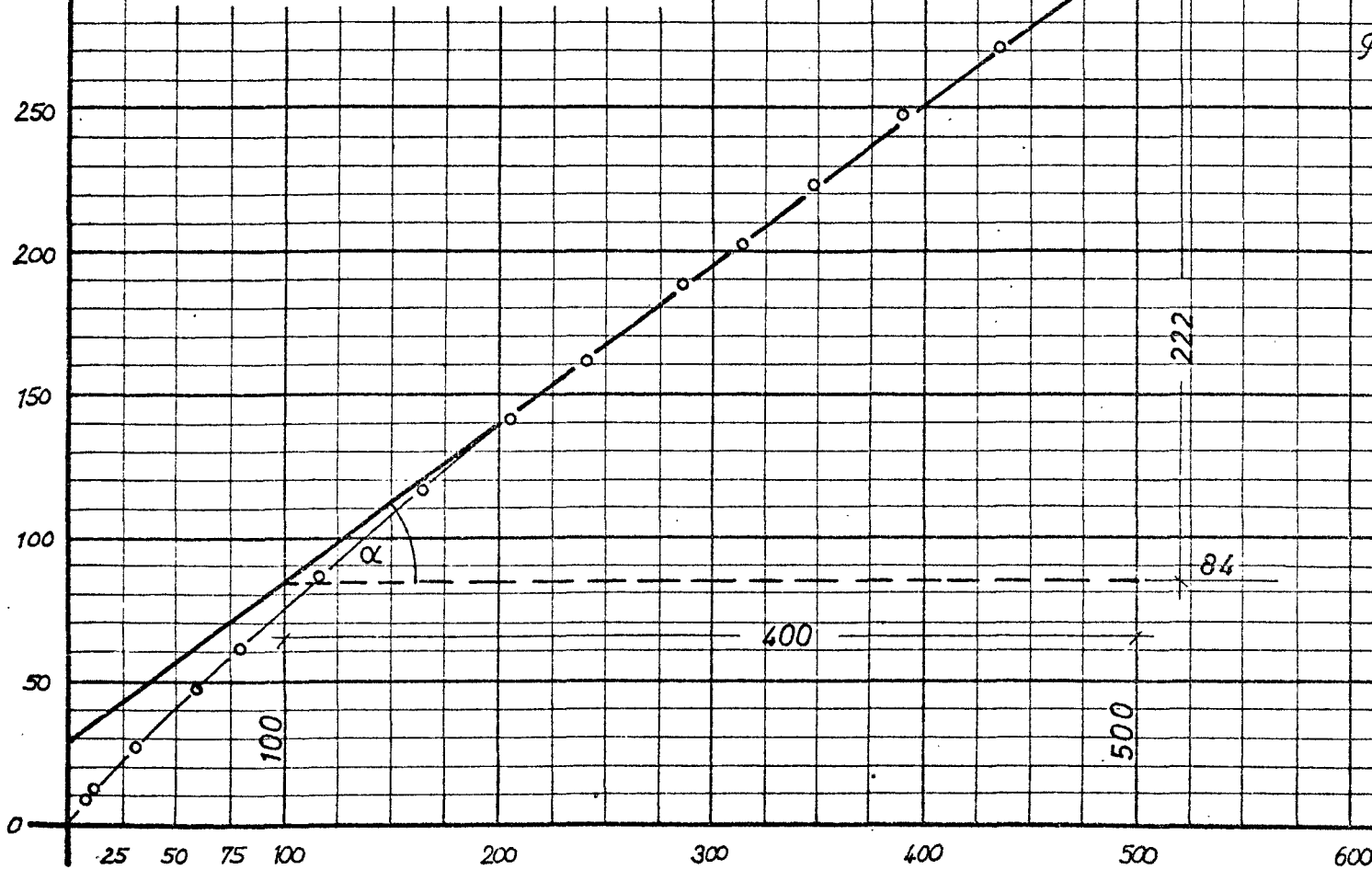
Prüfspannung $\sigma_k = 105 \text{ kp/cm}^2$

Belastungszeit t [Tage]

Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch III u. IV
Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch V
Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{t}{\epsilon_k + \epsilon_{el}} = \epsilon_{k,\infty} + \epsilon_{el}$$

$$\epsilon_{k,\infty} + \epsilon_{el} = \frac{500 - 100}{306 - 84} = \frac{400}{222} = 1,80 \cdot 10^{-3}$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{1,80}{0,58} - 1 = \underline{\underline{2,1}}$$

Herstellung : 13.9.1967

Bei dem Betonalter = 92 Tage geprüft:

$$\beta_w = 538 \text{ kp/cm}^2$$

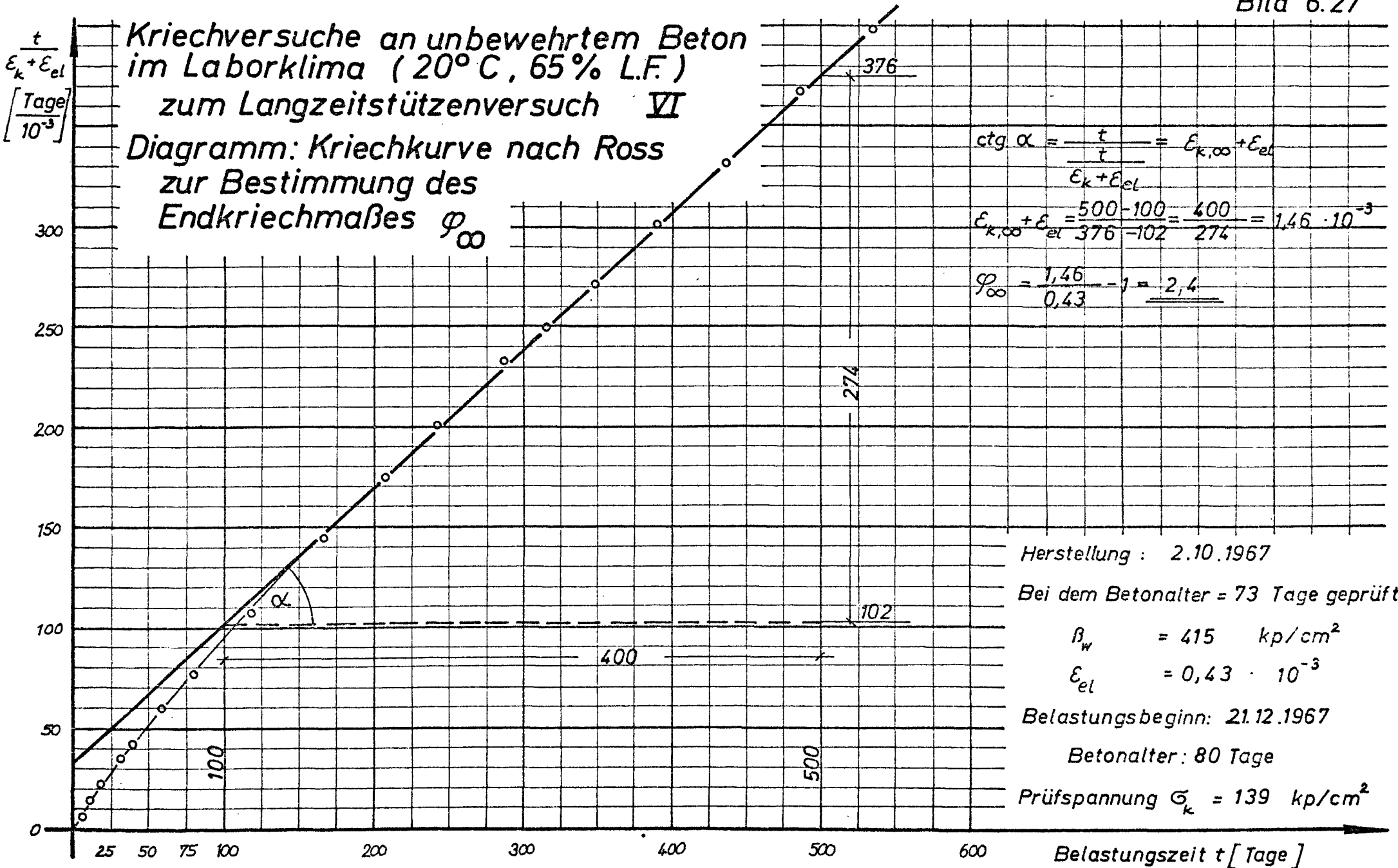
$$\epsilon_{el} = 0,58 \cdot 10^{-3}$$

Belastungsbeginn: 21.12.1967

Betonalter: 99 Tage

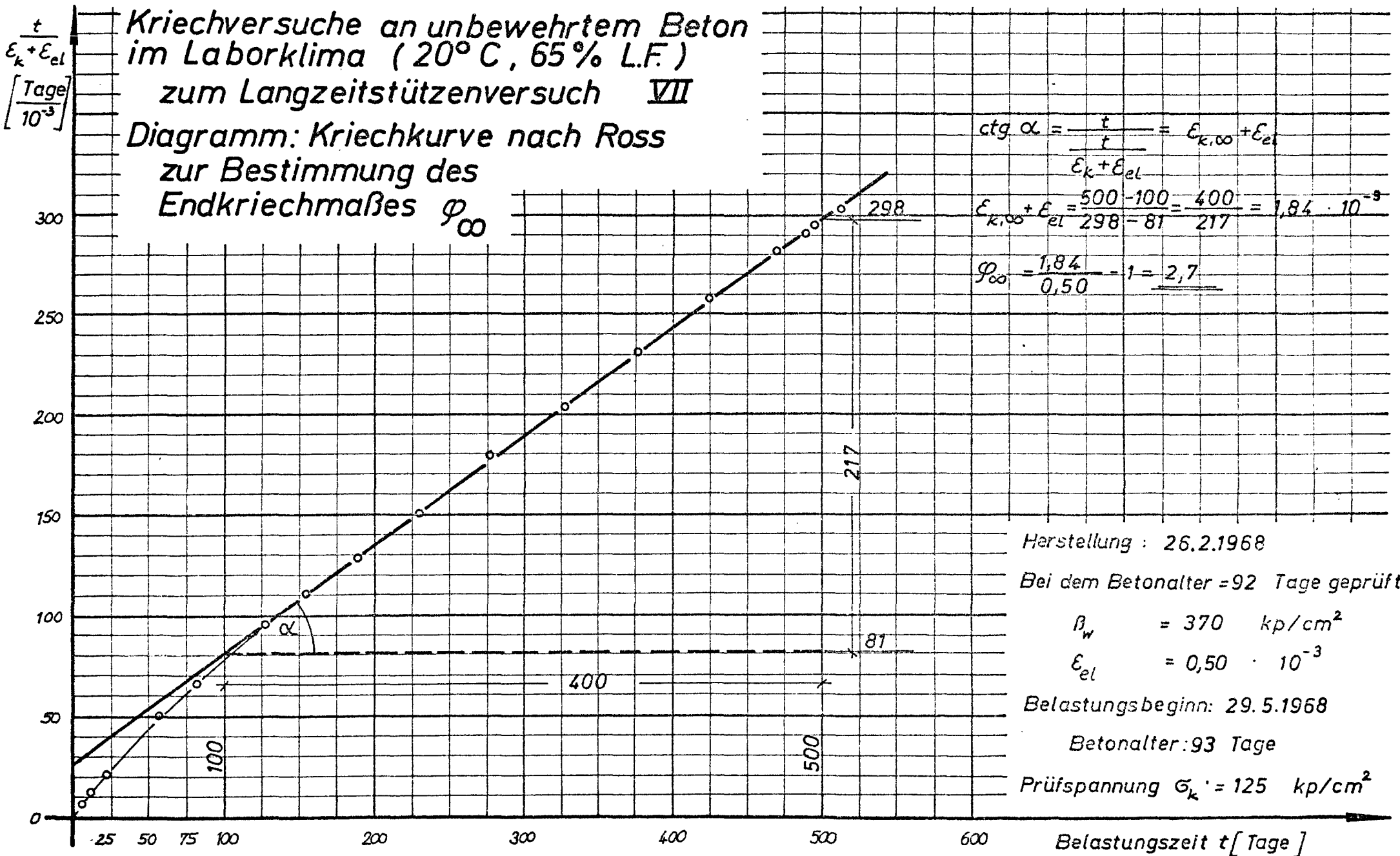
$$\text{Prüfspannung } \sigma_k = 178 \text{ kp/cm}^2$$

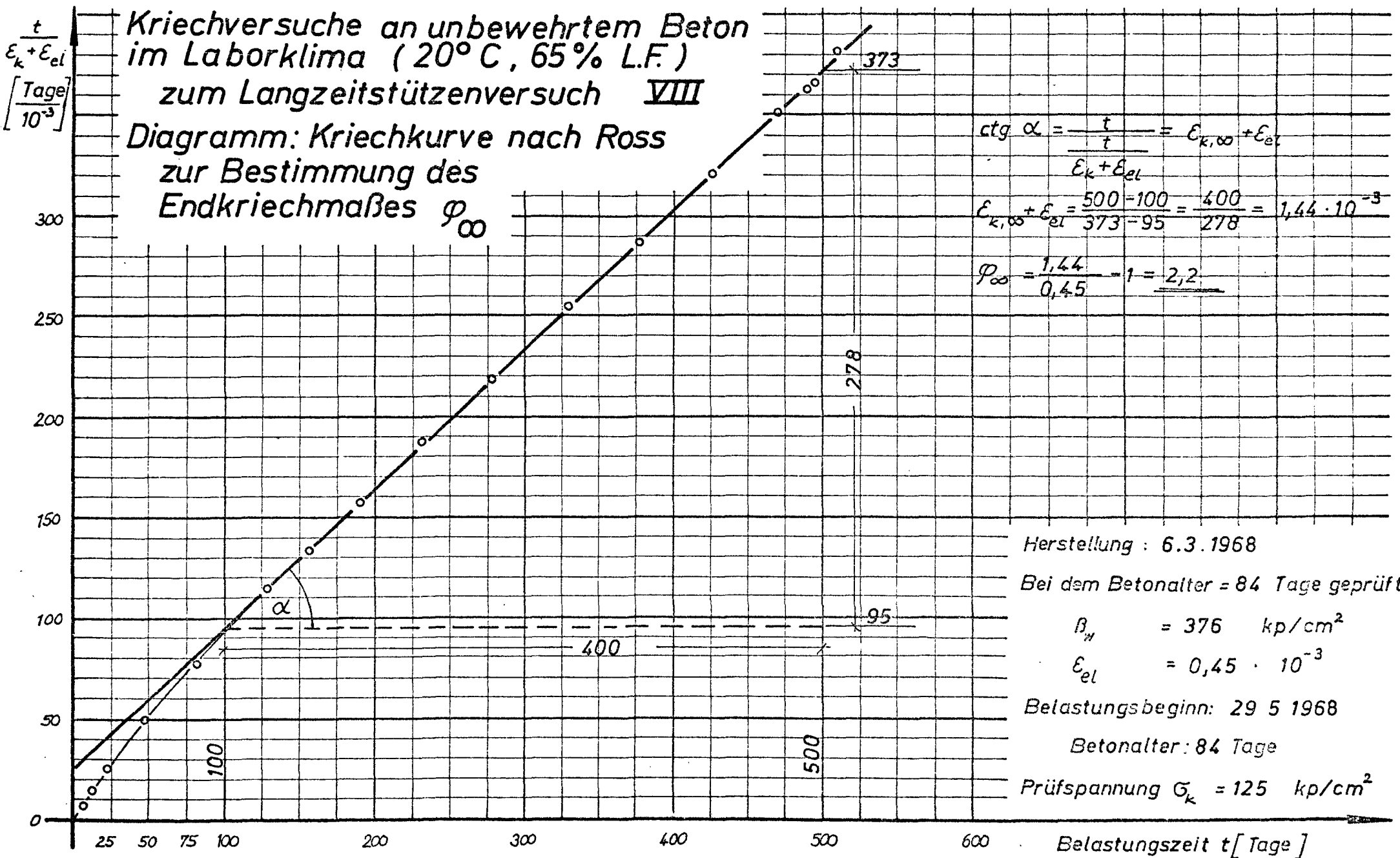
Belastungszeit t [Tage]



Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch VII

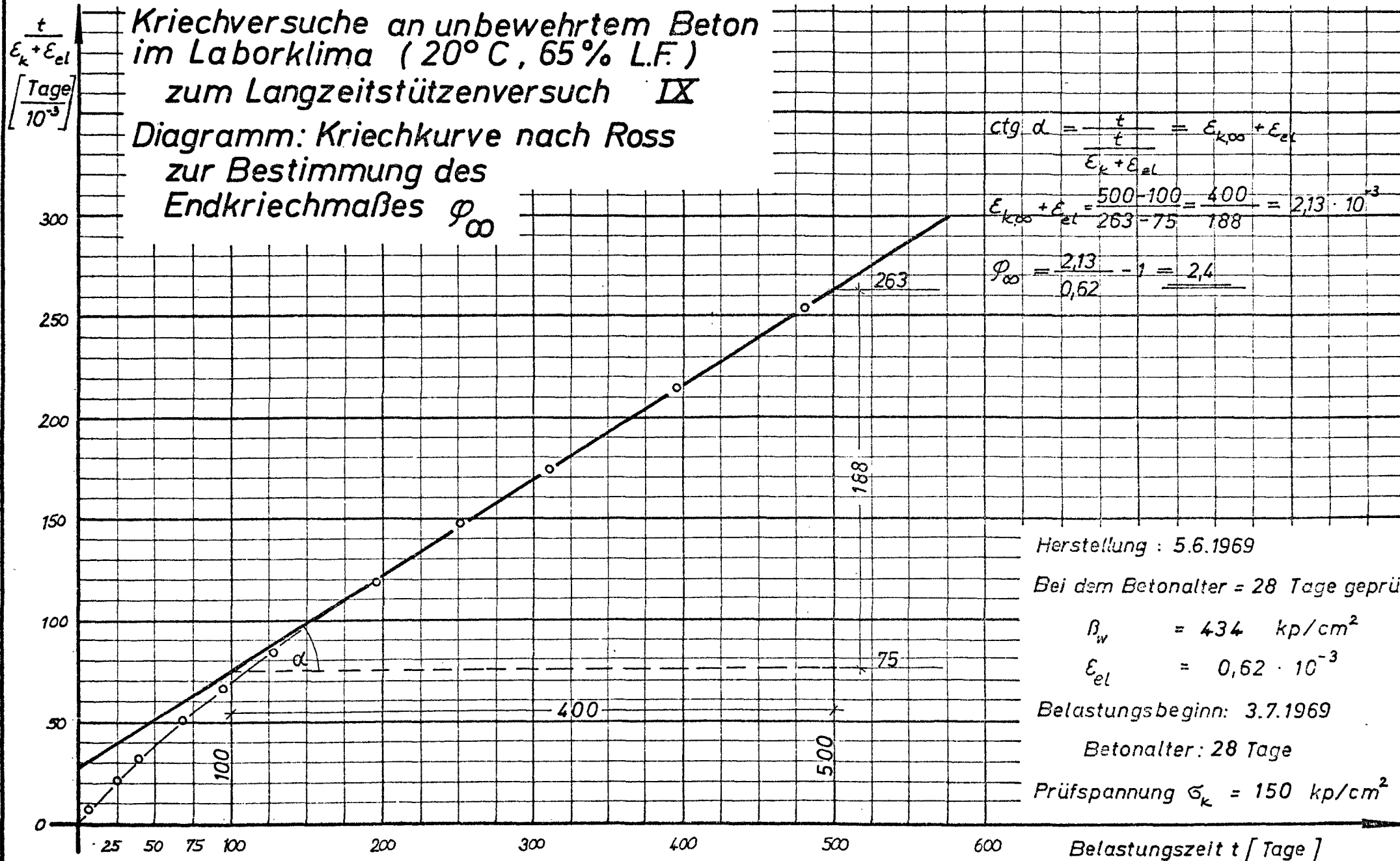
Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}





Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch IX

Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{t}{\varepsilon_k + \varepsilon_{el}} = \varepsilon_{k,\infty} + \varepsilon_{el}$$

$$\varepsilon_{k,\infty} + \varepsilon_{el} = \frac{500 - 100}{263 - 75} = \frac{400}{188} = 2,13 \cdot 10^{-3}$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{2,13}{0,62} - 1 = 2,4$$

Herstellung : 5.6.1969

Bei dem Betonalter = 28 Tage geprüft:

$$\beta_w = 434 \text{ kp/cm}^2$$

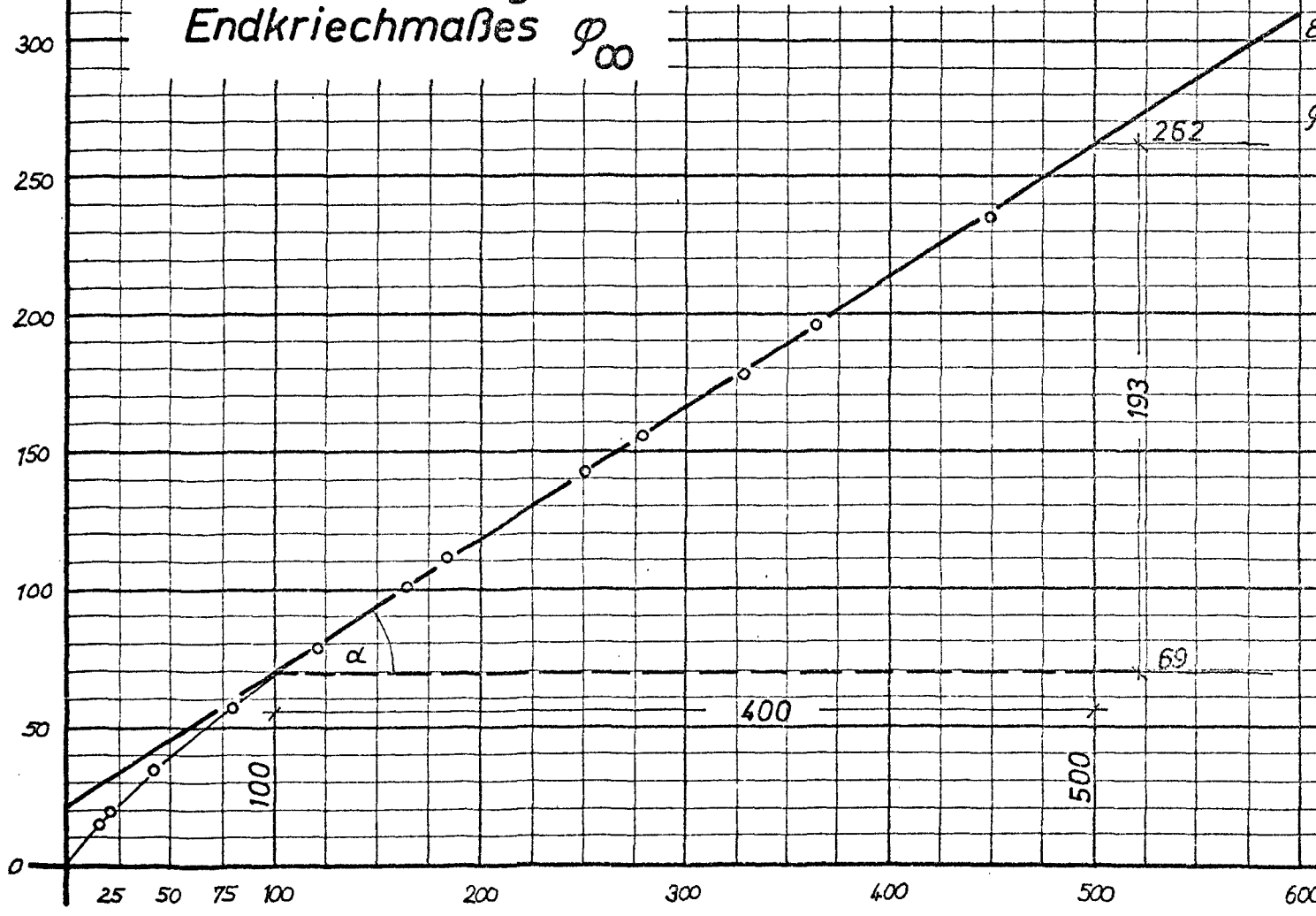
$$\varepsilon_{el} = 0,62 \cdot 10^{-3}$$

Belastungsbeginn: 3.7.1969

Betalter: 28 Tage

Prüfspannung $\sigma_k = 150 \text{ kp/cm}^2$

Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\frac{t}{\tau}}{\varepsilon_k + \varepsilon_{el}} = \varepsilon_{k, \infty} + \varepsilon_e$$

$$E_{k, \infty} + E_{el} = \frac{500 - 100}{262 - 69} = \frac{400}{193} = 2,07 \cdot 10^{-3}$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{2,07}{0,50} = \underline{\underline{3,1}}$$

Prüfspannung $\sigma_K = 112 \text{ kp/cm}^2$

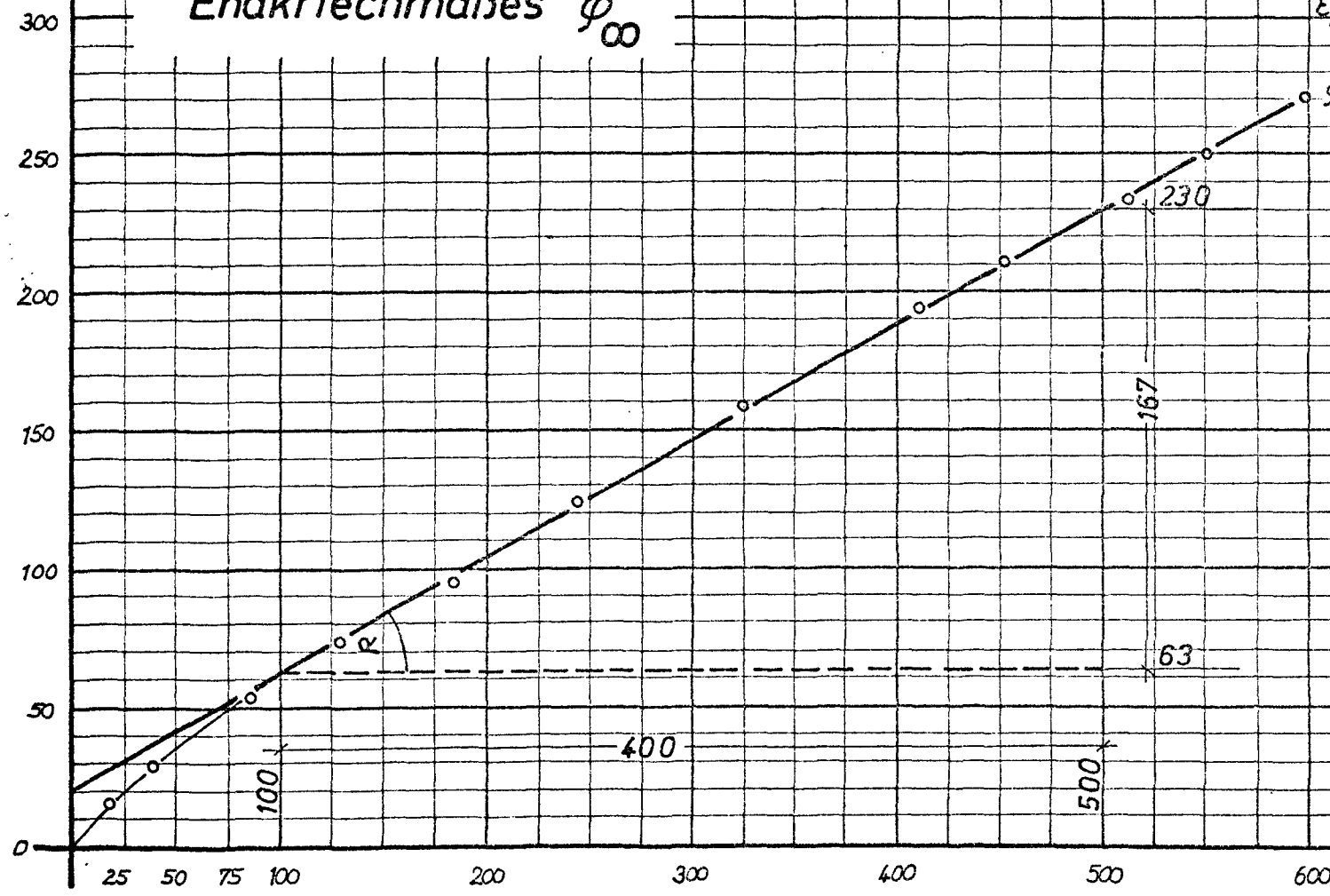
Belastungszeit t [Tage]

$$\frac{t}{\varepsilon_k + \varepsilon_{el}} \left[\frac{\text{Tage}}{10^{-3}} \right]$$

Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)

zum Langzeitstützenversuch XI

Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



$$\text{ctg } \alpha = \frac{t}{\varepsilon_k + \varepsilon_{el}} = \varepsilon_{k,\infty} + \varepsilon_{el}$$

$$\varepsilon_{k,\infty} + \varepsilon_{el} = \frac{500 - 100}{230 - 63} = \frac{400}{167} = 2,40 \cdot 10^{-3}$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{2,40}{0,50} - 1 = \underline{\underline{3,8}}$$

Herstellung : 13.8.1969

Bei dem Betonalter = 29 Tage geprüft:

$$\beta_w = 322 \text{ kp/cm}^2$$

$$\varepsilon_{el} = 0,50 \cdot 10^{-3}$$

Belastungsbeginn: 11.9.1969

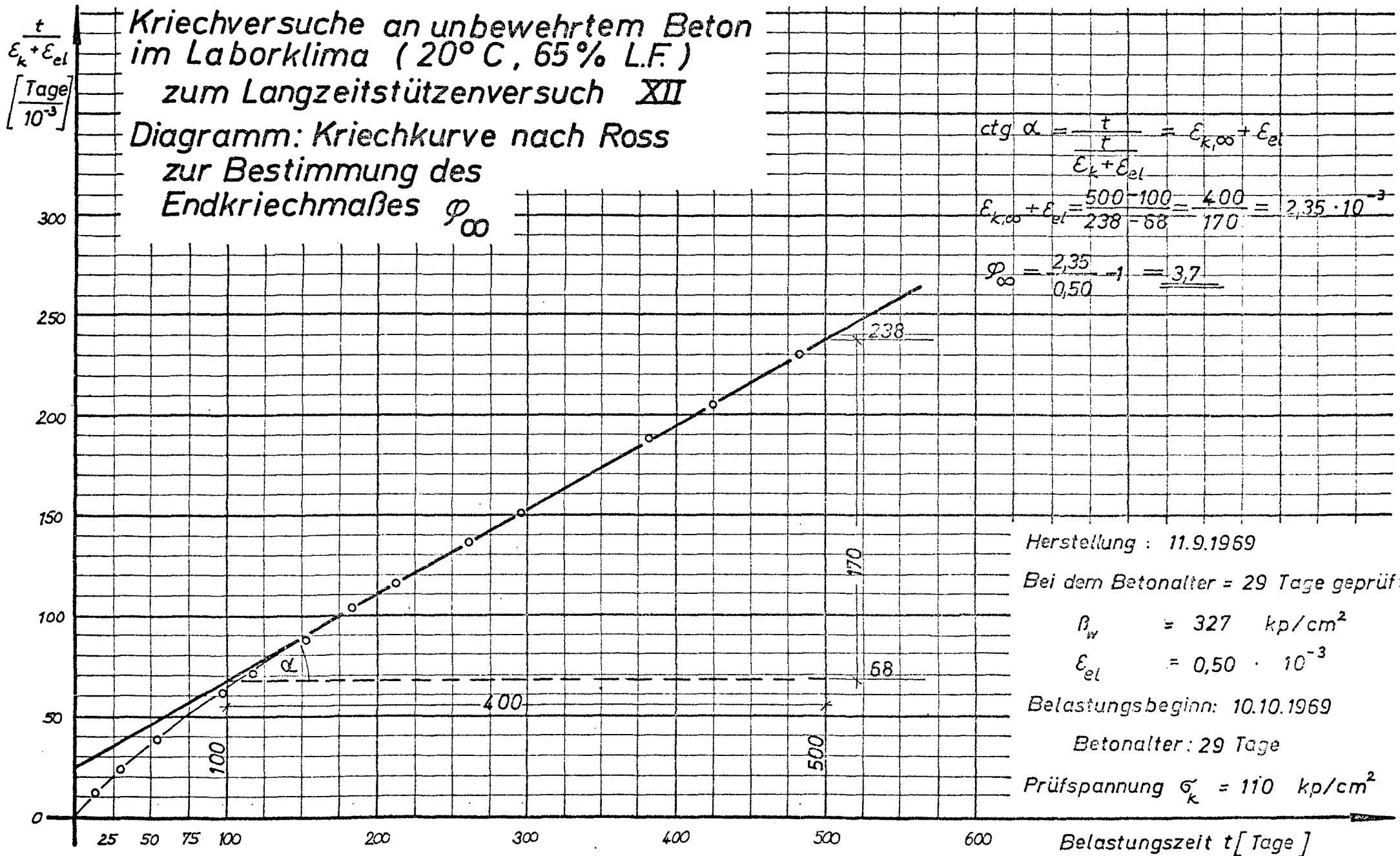
Betalter: 29 Tage

$$\text{Prüfspannung } \sigma_k = 112 \text{ kp/cm}^2$$

Belastungszeit t [Tage]

Bild 6.33

Kriechversuche an unbewehrtem Beton
im Laborklima (20°C, 65% L.F.)
zum Langzeitstützenversuch XII
Diagramm: Kriechkurve nach Ross
zur Bestimmung des
Endkriechmaßes φ_{∞}



$$V = \frac{m}{\rho} \cdot \frac{1}{n-1}$$

$$u = \frac{V}{m}$$

Tabelle

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch-Nr.:	I	I				II	II			
	Datum d. Herstellg.:	27.9.65	27.9.65				10.2.66	10.2.66			
	Uhrzeit d. Herstellg.:	10 ⁰⁰	10 ⁰⁰				10 ⁰⁰	10 ⁰⁰			
	Lagerungsart:	0.-1.Tag Feuchtgehalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2.-7.Tag Lagerung im Nebelraum: 20°C; ca 100% rel. Luftfeuchte 8.Tag bis Prüfung Lagerung im Keller bei ca. 20°C u. im Mittel 55% rel. L.F									
Festigkeiten	Prüfalter in Tagen:	28	325				28	187			
	β_{wi} in kp/cm^2 :	309	341				312,5	340			
		288	326				280	330			
		306					307,5	340			
	β_{wm} in kp/cm^2 :	301	334				300	337			
	V^* in %:	3,77	2,25				5,83	1,72			
	U^* in %:	2,67	1,59				3,36	0,99			
	Prüfalter in Tagen:										
	β_{zi} in kp/cm^2 :										
	β_{zm} in kp/cm^2 :										
	V in %:										
	U in %:										
	Maße in cm:	15x15x70					15x15x70				
Festigkeiten	Prüfalter in Tag:	28					28	187			
	β_{pi} in kp/cm^2 :	256					260	299			
		240					251	274			
							286	286			
	β_{pm} in kp/cm^2 :	248					266	286			
	Maße in cm:	15x10x70					15x10x70				
	Prüfalter in Tagen:	28					28	187			
	$\bar{\sigma}_{ui}$ in kp/cm^2 :	28,3					35,3	48,5			
		37,5					36,2				
	$\bar{\sigma}_{um}$ in kp/cm^2 :	32,9					35,8	48,5			
	V in %:	1,98					1,79				
	U in %:	1,40					1,26				
Verhältnis- Werte	β_{zm}/β_{wm} :										
	β_{pm}/β_{wm} :	0,824					0,885	0,850			
	$\bar{\sigma}_{um}/\beta_{wm}$:	0,109					0,106	0,145			
	$\bar{\sigma}_{um}/\beta_{pm}$:	0,133					0,119	0,169			
E-Modul	E_t in kp/cm^2 :										
	E_s in kp/cm^2 :	282·10 ³					238·10 ³	260·10 ³			
Raumgewichte	Würfel	γ_i in t/m^3 :	2,308	2,24			2,30	2,29			
			2,313	2,29			2,30	2,30			
			2,305				2,31	2,30			
	Zylinder	γ_m in t/m^3 :	2,309	2,27			2,30	2,30			
	Prismen	γ_i in t/m^3 :									
			2,244				2,20	2,32			
			2,240				2,29	2,29			
			2,234				2,27	2,26			
		γ_m in t/m^3 :	2,239				2,25	2,29			

$$*) V = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\sum (m-i)^2}{n-1}}$$

$$*) U = \frac{V}{\sqrt{n}}$$

Tabelle

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch-Nr.:	III	III				IV	IV			
	Datum d. Herstellungs:	24.11.65	24.11.65				20.1.66	20.1.66			
	Uhrzeit d. Herstellungs:	1130	1130								
	Lagerungsart:	0.-1. Tag Feuchtgehalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2.-7. Tag Lagerung im Nebelraum: 20°C, ca. 100% rel. Luftfeuchte 8. Tag bis Prüfung, Lagerung im Keller bei ca. 20°C u. i.H. 55% rel. L.F.									
Festigkeiten	Würfel 20cm	Prüfalter in Tagen:	28	267			28	211			
		β_{Wi} in kp/cm^2 :	310	347			262	282			
			287	381			270	307			
			282	357			267	298			
		β_{Wm} in kp/cm^2 :	293	362			267	296			
		V^* in %:	5,09	4,84			1,53				
		U^* in %:	2,94	2,79			0,88				
	Zylinder 15/30cm	Prüfalter in Tagen:									
		β_{Zi} in kp/cm^2 :									
		β_{Zm} in kp/cm^2 :									
Festigkeiten	zentr. gedr. Prism.	Maße in cm:	15 x 15 x 70				15 x 15 x 70				
		Prüfalter in Tagen:	28	267			28	211			
			264	296			240	224			
		β_{Pi} in kp/cm^2 :	278	300			244	246			
			271	302			242	246			
		β_{Pm} in kp/cm^2 :	271	299			242	239			
	Biegezugprismen	Maße in cm:	15 x 10 x 70				15 x 10 x 70				
		Prüfalter in Tagen:	28	267			28	211			
			34,0	61,7			40,8				
		σ_{Ui} in kp/cm^2 :	31,5	63,2			46,7				
Verhältnis-	Werte	σ_{Um} in kp/cm^2 :	32,8	62,5			43,8				
		V in %:	5,39	1,70			0,95				
		U in %:	3,81	1,20			0,67				
		β_{Zm} / β_{Wm} :									
		β_{Pm} / β_{Wm} :	0,925	0,827			0,906	0,738			
E-Modul	Werte	σ_{Um} / β_{Wm} :	0,112	0,173			0,135				
		σ_{Um} / β_{Pm} :	0,121	0,209			0,138				
		E_t in kp/cm^2 :									
		E_s in kp/cm^2 :	255 · 10 ³	280 · 10 ³			200 · 10 ³	230 · 10 ³			
Raumgewichte	Würfel	γ_i in t/m^3 :	2,294	2,23			2,240	2,26			
			2,311	2,22			2,249	2,26			
			2,287	2,21			2,248	2,26			
		γ_m in t/m^3 :	2,297	2,22			2,246	2,26			
	Zylinder	γ_i in t/m^3 :									
		γ_m in t/m^3 :									
	Prismen	γ_i in t/m^3 :	2,20	2,22			2,157	2,205			
			2,23	2,15			2,17				
			2,22				2,205				

$$*) V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{z(m-i)^2}{h-1}$$

$$*) u = \frac{V}{n}$$

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch-Nr.:	V						VI				
	Datum d. Herstellg.:	13.9.67						2.10.67				
	Uhrzeit d. Herstellg.:	10 ³⁰						10 ³⁰				
	Lagerungsart:	0 ÷ 1. Tag : Feuchthalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2. ÷ 7. Tag : Lagerung im Nebelraum, 20°C, ~100 % rel. L.F. 8. Tag : Prüfung : Lagerung im Keller bei -20°C u. ~55% rel. L.F.										
Festigkeiten	Würfel 20cm	Prüfalter in Tagen:	7	28	92	192	385	683	7	28	73	365
		β_{wi} in kp/cm^2 :	385	509	569	607	537	555	230	338	402	412
			345	459	493	520	492	612	245	329	403	435
			344	440	528	515			228	324	416	435
		β_{wm} in kp/cm^2 :	358	469	530	547	515	584	234	330	409	427
	V^* in % :											
	U^* in % :											
	Zylinder 15/30cm	Prüfalter in Tagen:	7	28	92	192		683	7	28	73	
		Spaltzugfestigkeit	24,6	26,3	34,4	32,8		31,3	17,2	28,2	36,5	
		β_{sp} in kp/cm^2 :	24,5	34,5	35,9	31,1		34,4	20,7	25,6	26,1	
24,2			33,9	31,1	33,6			20,3	30,2	28,0		
β_{sp} in kp/cm^2 :		24,4	31,6	33,8	32,5		32,9	19,4	28,0	30,2		
Festigkeiten	zentr. gedr. Prism.	V in % :										
		U in % :										
		Maße in cm :				~ 15 15 70						
		Prüfalter in Tag:		28	92	192				28	73	
		β_{pi} in kp/cm^2 :		416	455	528				280	305	
			354		461				275	327		
			413						291			
	β_{pm} in kp/cm^2 :		394		495				282	316		
	Biegezugprismen	Maße in cm :				101 15 70						
		Prüfalter in Tagen:								28	73	
σ_{ui} in kp/cm^2 :									39,3	48,0		
									41,9	46,1		
σ_{um} in kp/cm^2 :								40,6	47,1			
Verhältnis-	Werte	V in % :										
		U in % :										
		β_{zm}/β_{wm} :										
		β_{pm}/β_{wm} :										
		σ_{um}/β_{wm} :										
E-Modul	Prismen	σ_{um}/β_{pm} :										
		E_t in kp/cm^2 :										
		E_s in kp/cm^2 :		$329 \cdot 10^3$	$346 \cdot 10^3$	$383 \cdot 10^3$	$383 \cdot 10^3$	$387 \cdot 10^3$		$326 \cdot 10^3$	$327 \cdot 10^3$	$346 \cdot 10^3$
		γ_i in t/m^3 :	2,389	2,400	2,380	2,350	2,325	2,340	2,376	2,331		
			2,353	2,363	2,320	2,320	2,300	2,370	2,363	2,354		
2,350	2,338		2,350	2,310			2,370	2,349				
Raumgewichte	Zylinder	γ_m in t/m^3 :	2,364	2,367	2,350	2,330	2,313	2,345	2,370	2,345		
		γ_i in t/m^3 :	-	2,350	2,348	2,342		2,368	2,369	2,350	2,351	
			2,389	2,346	2,356	2,346		2,350	2,340	2,315	2,339	
			2,375	2,325	2,384	2,353			2,347	2,358	2,351	
		γ_m in t/m^3 :	2,382	2,340	2,362	2,347		2,359	2,352	2,341	2,347	
Raumgewichte	Prismen	γ_i in t/m^3 :		2,331	2,353					2,307	2,352	
											2,310	
		γ_m in t/m^3 :										

$$*) V = \frac{m}{n} \left| \frac{\sum (m-i)^2}{n-1} \right|$$

$$*) u = \frac{V}{n}$$

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch - Nr.:	VI	VII											
	Datum d. Herstellg.:	2.10.67	26.2.68											
	Uhrzeit d. Herstellg.:	10 ³⁰	10 ³⁰											
	Lagerungsart:	0. ÷ 1. Tag: Feuchthalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2. ÷ 7. Tag: Lagerung im Nebelraum, 20°C, ~ 100 % rel. L.F. 8. Tag ÷ Prüfung: Lagerung im Keller bei ~ 20°C u. ~ 55 ÷ 60% rel. L.												
Festigkeiten	Würfel 20cm	Prüfalter in Tagen:	664	3	7	28	74	92	123	184				
		β_{wi} in kp/cm^2 :	465	176	247	320	355	375	387	387				
			465	143	239	330	372	365	400					
			452		240	277	357							
		β_{wm} in kp/cm^2 :	462	160	242	309	361	370	394					
		V^* in %:												
	U^* in %:													
	Zylinder 15/30cm	Prüfalter in Tagen:	664	3	7	28	74				187			
		Spaltzugfestigkeit:	31,2	14,9	15,4	25,7	25,0				28,0			
		β_{sp} in kp/cm^2 :	33,2	15,3	18,9	25,3	33,2				23,0			
			33,3		17,1	26,9	27,8							
		β_{sp} in kp/cm^2 :	32,6	15,1	17,1	26,0	28,7				25,5			
		V in %:												
		U in %:												
		Maße in cm:				15	15	170						
		zentr. ged. Prism.	Prüfalter in Tag:	664			28	74				489	538	
			β_{pi} in kp/cm^2 :	376			245	331				309	376	
						242						358		
						302						305		
	β_{pm} in kp/cm^2 :					263						346		
Biegezugprismen	Maße in cm:				10	15	170							
	Prüfalter in Tagen:				28	77								
	σ_{ui} in kp/cm^2 :				26,4	45,9								
					24,0	44,1								
	σ_{um} in kp/cm^2 :				25,2	45,0								
	V in %:													
	U in %:													
Verhältnis	Werte	β_{zm}/β_{wm} :												
		β_{pm}/β_{wm} :												
		σ_{um}/β_{wm} :												
		σ_{um}/β_{pm} :												
E-Modul	E_t in kp/cm^2 :													
	E_s in kp/cm^2 :				320 · 10 ³	329 · 10 ³		329 · 10 ³	346 · 10 ³	331 · 10 ³	341 · 10 ³			
Raumgewichte	Würfel	γ_i in t/m^3 :	2,310	2,331	2,339	2,300	2,300	2,276	2,290	2,290				
			2,300	2,331	2,346	2,300	2,310	2,288	2,296					
			2,310		2,376	2,320	2,300							
	Zylinder	γ_m in t/m^3 :	2,307	2,331	2,354	2,307	2,303	2,282	2,293					
			2,289	2,334		2,288	2,297			2,282				
	Prismen	γ_i in t/m^3 :	2,333	2,346		2,182	2,265			2,307				
			2,315			2,280	2,310							
			γ_m in t/m^3 :	2,312	2,340		2,250	2,290			2,295			
		γ_i in t/m^3 :	2,272			2,270	2,276							
							2,276							

http://www.hogrefe.de/doi/10.5957/

03/06/2014

$$*) V = \frac{m}{\rho} \cdot \frac{2(1-\nu)}{h-1}$$

$$*) u = \frac{V}{\rho h}$$

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch - Nr.:	VIII										
	Datum d. Herstellg.:	6.3.68										
	Uhrzeit d. Herstellg.:	14 ⁴⁵										
	Lagerungsart:	0. ÷ 1. Tag: Feuchthalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2. ÷ 7. Tag: Lagerung im Nebelraum, 20°C, ~ 100% rel. L.F. 8. Tag ÷ Prüfung: Lagerung im Keller bei -20°C u. ~ 55:60% L.F.										
Festigkeiten	Würfel 20cm	Prüfalter in Tagen:	8	28	65	84	113	176	373			
		β_{wi} in kp/cm^2 :	251	344	402	358	380	372	416			
			245	345	385	394	375	400	430			
			245	346	417							
		β_{wm} in kp/cm^2 :	248	345	401	376	378	386	423			
	V^* in %:											
	U^* in %:											
	Zylinder 15/30cm	Prüfalter in Tagen:	8	28	65		113	179	373			
		Spaltzugfestigk.	19,2	27,7	27,4		32,1	30,9	30,2			
		β_{sp} in kp/cm^2 :	21,1	24,1	33,9		23,2	32,1	31,2			
			20,6	39,2	29,2							
		β_{sp} in kp/cm^2 :	20,3	30,3	30,2		27,7	31,5	30,7			
	V in %:											
	U in %:											
	zentr. gedr. Prism.	Maße in cm:	15/15/70									
		Prüfalter in Tag:		28	69		112	176	373	612	595	
		β_{pi} in kp/cm^2 :		265								
				261								
				264								
	β_{pm} in kp/cm^2 :		263									
Biegezugprismen	Maße in cm:	10/15/70										
	Prüfalter in Tagen:		28	65								
	σ_{ui} in kp/cm^2 :		36,4	46,2								
			43,9	43,1								
σ_{um} in kp/cm^2 :		40,2	44,7									
V in %:												
U in %:												
Verhältnis	Werte	β_{zm}/β_{wm} :										
		β_{pm}/β_{wm} :										
		σ_{um}/β_{wm} :										
		σ_{um}/β_{pm} :										
E-Modul	E_t in kp/cm^2 :											
	E_s in kp/cm^2 :		295 $\cdot 10^3$	335 $\cdot 10^3$		356 $\cdot 10^3$	341 $\cdot 10^3$	338 $\cdot 10^3$	330 $\cdot 10^3$	354 $\cdot 10^3$		
Raumgewichte	Würfel	γ_i in t/m^3 :	2,346	2,306	2,320	2,311	2,335	2,300	2,313			
			2,360	2,328	2,320	2,288	2,319	2,320	2,313			
			2,353	2,319	2,340							
	Zylinder	γ_m in t/m^3 :	2,353	2,318	2,327	2,300	2,327	2,310	2,313			
			2,336		2,309			2,298	2,241			
			2,364		2,248			2,284	2,259			
	Prismen	γ_i in t/m^3 :	2,333		2,299							
			2,344		2,285			2,291	2,250			
				2,279								
			2,282									
		2,280										

$$*) v = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\sum(m-i)^2}{n-1}}$$

$$*) u = \frac{v}{\sqrt{n}}$$

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch-Nr.:	IX					X				
	Datum d. Herstllg.:	5.6.69					7.7.69				
	Uhrzeit d. Herstllg.:	11 45					11 15				
	Lagerungsart:	0.-1.Tag Feuchtgehalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2.-7.Tag Lagerung im Nebelraum: 20°C, ca. 100% rel. Luftfeuchte 8.Tag bis Prüfung Lagerung im Keller bei ca 20°C u. im Mittel 55% rel. LF.									
Festigkeiten	Prüfalter in Tagen:	8	28	29	104	389	28	66	72	358	
	Würfel 20cm										
	β_{wi} in kp/cm^2 :	377	435		495	472	345	395		382	
		385	442		502,5	475	320	362		362	
		337	425			445	320	342		380	
	β_{wm} in kp/cm^2 :	366	434		498,75	464	328	366		375	
	V^* in %:										
	U^* in %:										
	Zylinder 15/30cm										
	Prüfalter in Tagen:		29		104		30				
Verhältnisse	Spaltzugfestigkeit		36,32		27,84		23,32				
	β_{sp} in kp/cm^2 :		37,71		31,33		22,56				
			24,98				26,01				
	β_{sp} in kp/cm^2 :		33,00		29,59		23,96				
	V in %:										
	U in %:										
	Maße in cm:		15/15/70			15/15/70	15/15/70				
	Prüfalter in Tag:		29			390	29			358	
			335,57			332,60	251,11			296,04	
	β_{pi} in kp/cm^2 :		320,37				269,78				
Raumgewichte			355,00				286,7				
	β_{pm} in kp/cm^2 :		336,98			332,60	269,20			296,04	
	Maße in cm:			10/15/70				10/15/70			
	Prüfalter in Tagen:			29				72			
				37,72				36,45			
	σ_{ui} in kp/cm^2 :			45,69				39,54			
	σ_{um} in kp/cm^2 :			41,705				37,99			
	V in %:										
	U in %:										
E-Modul	Verhältnisse										
	Werte										
Raumgewichte	β_{zm}/β_{wm} :										
	β_{pm}/β_{wm} :										
	σ_{um}/β_{wm} :										
	σ_{um}/β_{pm} :										
	Et in kp/cm^2 :										
	E_{s10} in kp/cm^2 :			350·10 ³		315·10 ³	319·10 ³			332·10 ³	
	Würfel										
	γ_i in t/m^3 :	2,34	2,32		2,33	2,29	2,26	2,27		2,26	
		2,39	2,32		2,34	2,30	2,27	2,26		2,25	
		2,35	2,32			2,29	2,28	2,26		2,24	
Raumgewichte	Zylinder										
	γ_m in t/m^3 :	2,36	2,32		2,33	2,29	2,27	2,26		2,25	
			2,346		2,33		2,28				
	γ_i in t/m^3 :		2,369		2,33		2,30				
			2,331				2,28				
	γ_m in t/m^3 :		2,349		2,33		2,29				
	Prismen										
	γ_i in t/m^3 :		2,321	2,265		2,23			2,22	2,19	
			2,304	2,301					2,26		
			2,290								
Raumgewichte	Prismen										
	γ_m in t/m^3 :		2,305	2,283		2,23			2,24	2,19	

$$*) v = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{\sum (m-i)^2}{n-1}}$$

$$*) u = \frac{v}{\sqrt{n}}$$

Betonprüfungen: Festigkeit, E-Modul u. Raumgewicht

Bemerkungen:	Versuch-Nr.:	XI					XII				
	Datum d. Herstllg.:	13.8.69					11.9.69				
	Uhrzeit d. Herstllg.:	10 ⁴⁰					10 ³⁵				
	Lagerungsart:	0.-1.Tag Feuchtgehalten durch Abdecken mit nassen Säcken 2.-7.Tag Lagerung im Nebelraum: 20°C; ca. 100% rel. Luftfeuchte 8.Tag bis Prüfung Lagerung im Keller bei ca. 20°C u. im Mittel 55% rel. L.F.									
Festigkeiten	Prüfalter in Tagen:	29	35	36	125	383	29	35	97	354	
	β_{wi} in kp/cm^2 :	3275			400	410	334		410	430	
	β_{wm} in kp/cm^2 :	3120			375	400	332,5		377	385	
	β_{sp} in kp/cm^2 :	3250			370	370	314		365	365	
	V^* in %:	3215			382	393	327		384	393	
	U^* in %:										
	Prüfalter in Tagen:		35		125	383	29		97	354	
	Spaltzugfestigkeit β_{sp} in kp/cm^2 :		21,37		30,43	31,10	28,14		32,22	30,29	
	β_{sp} in kp/cm^2 :		23,92		36,21	32,3	25,91		27,11	26,75	
	V in %:		29,12								
Verhältnisse	U in %:		24,80		33,32	31,7	27,03		29,67	28,52	
	Maße in cm:		15/15/70	15/15/70	15/15/70	15/15/70		15/15/70	15/15/70	15/15/70	
	Prüfalter in Tag:		36	36	128	383		35	99	354	
	β_{pi} in kp/cm^2 :		293,33	305,25	351,95	362,4		281,66	307,72	316,7	
	β_{pm} in kp/cm^2 :							296,9			
	β_{pm} in kp/cm^2 :		293,33	305,25	351,95	362,4		289,28			
	Maße in cm:		10/15/70				10/15/70				
	Prüfalter in Tagen:		35				29				
	σ_{ui} in kp/cm^2 :		39,37				34,46				
	σ_{um} in kp/cm^2 :		32,34				37,20				
Raumgewichte	σ_{um} in kp/cm^2 :		35,85				35,83				
	V in %:										
	U in %:										
	β_{zm}/β_{wm} :										
	β_{pm}/β_{wm} :										
	σ_{um}/β_{wm} :										
	σ_{um}/β_{pm} :										
	E_t in kp/cm^2 :										
	E_{sp} in kp/cm^2 :		305·10 ³		321·10 ³	323·10 ³		307·10 ³	315·10 ³	312·10 ³	
	γ_i in t/m^3 :		2,27		2,26	2,25	2,27		2,25	2,24	
Raumgewichte	γ_i in t/m^3 :		2,25		2,24	2,24	2,26		2,25	2,23	
	γ_i in t/m^3 :		2,27		2,23	2,23	2,29		2,35	2,24	
	γ_m in t/m^3 :		2,26		2,24	2,24	2,28		2,28	2,24	
	γ_i in t/m^3 :		2,30		2,29	2,26	2,32		2,3	2,298	
	γ_i in t/m^3 :		2,30		2,28	2,33	2,28			2,266	
	γ_i in t/m^3 :		2,38						2,29		
	γ_m in t/m^3 :		2,33		2,29	2,29	2,3			2,282	
	γ_i in t/m^3 :		2,27	2,21			2,24	2,24			
	γ_i in t/m^3 :		2,24				2,26	2,29			
	γ_m in t/m^3 :		2,25	2,21			2,25	2,27			

Betonzusammensetzung. der verschied. Versuche

Versuch	Herstellung	Zuschläge							Zement			Wasser		rechn.	Festraum- Gewicht	Bemerk.
								Gesamt:	Güteklasse	Menge	Lieferung v.	Menge	W/Z			
		0-0,2	0,2-1	1-3	3-7	7-15	15-30									
Bezeichnung	Datum:	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	Bezeichnung	kg/m³	Datum:	kg/m³	-	kg/m³		
I	27.9.65	9	427	228	361	351	522	1898	PZ 275	224	26.8.65	182	0,82			
II	10.2.66	66	346	178	468	477	337	1872	"	300	10.1.66	243	0,81			
III	24.11.65	121	364	261	502	552	-	1800	"	288	27.10.65	228	0,79			
IV	20.1.66	121	364	261	502	552	-	1800	"	290	10.1.66	234	0,82			
V	13.9.67	37	720	176	349	422	232	1936	"	274	1.9.67	167	0,61			
VI	2.10.67	35	715	175	346	419	232	1922	"	288	26.9.67	176	0,61			
VII	26.2.68	40	755	271	258	319	255	1898	"	309	22.2.68	204	0,66			
VIII	6.3.68	39	745	268	254	314	251	1871	"	310	22.2.68	198	0,64			
IX	5.6.69	27	562	411	294	359	266	1919	"	272	Mai 69	182	0,57			
X	7.7.69	26	552	403	288	352	262	1883	"	271	Juli 69	163	0,60			
XI	13.8.69	24	744	249	231	276	291	1815	"	300	"	189	0,63			
XII	11.9.69	27	747	250	232	277	293	1823	"	302	"	190	0,63			

<http://www.digliba-hbz.org/?docid=0006457>

03/06/2014

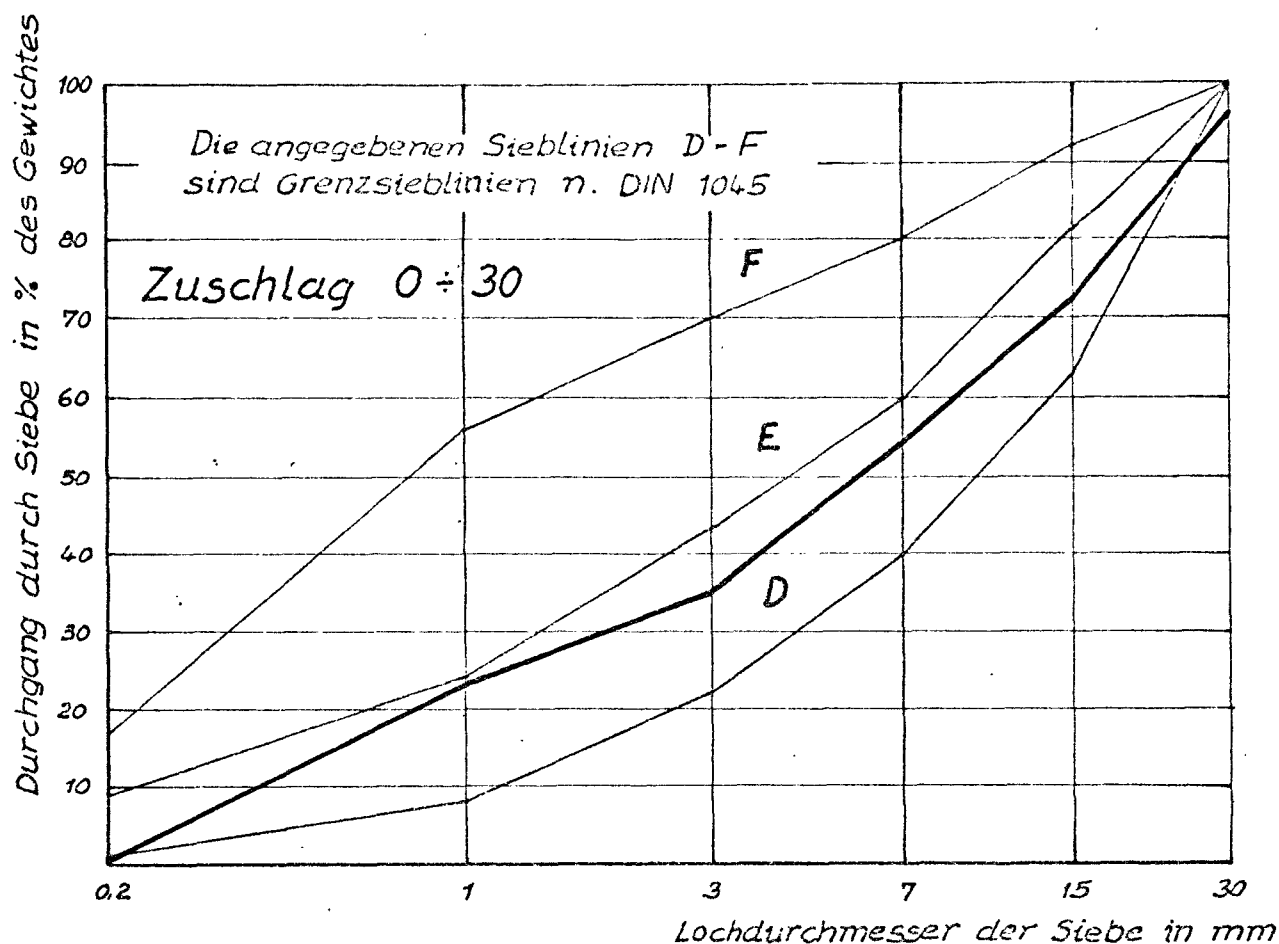


Abb.

Sieblinie einer zusammengesetzten Probe, bei der die einzelnen Fraktionen in prozentualen Anteilen [Gew.-%] dem Zuschlag in dem Versuchsbeton der Stütze I entsprechen

Prüfung am : 31.8. 1965

Abbauort : : Grube Riemenschneider in Watenbüttel

Sieb Probe		Anteile [Gew.-%]						über korn >30
		0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 15	15 - 30	
1	einzel	1	22	12	20	18	22	5
	Durchg.	1	23	35	55	73	95	100
2	einzel	-	23	12	18	19	25	3
	Durchg.	-	23	35	53	72	97	100
3	einzel							
	Durchg.							
Mittel	einzel	0,5	22,5	12	19	18,5	23,5	4
	Durchg.	0,5	23	35	54	72,5	96	100

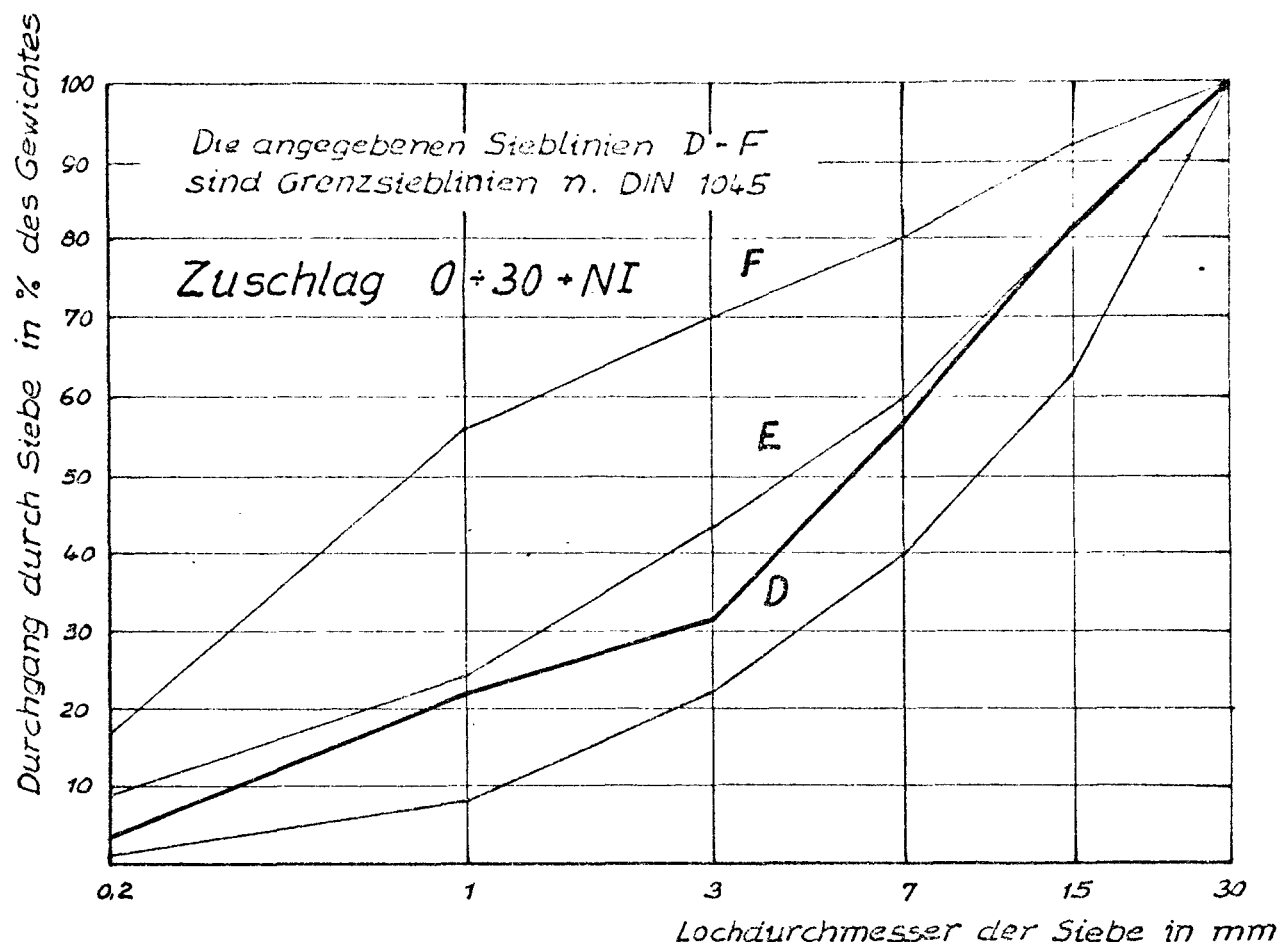


Abb.

Sieblinie einer zusammengesetzten Probe, bei der die einzelnen Fraktionen in prozentualen Anteilen [Gew.-%] dem Zuschlag in dem Versuchsbeton der Stütze II entsprechen.

Prüfung am : 17. 2. 1966

Abbauort : Grube Riemenschneider in Watenbüttel

Sieb φ Probe		Anteile [Gew.-%]						Über korn > 30
		0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 15	15 - 30	
1	einzel	3	19	10	25	25	17	1
	Durchg.	3	22	32	57	82	99	100
2	einzel	4	18	9	25	26	18	-
	Durchg.	4	22	31	56	82	100	-
3	einzel							
	Durchg.							
Mittel	einzel	3,5	18,5	9,5	25	25,5	17,5	0,5
	Durchg.	3,5	22,0	31,5	56,5	82	99	100

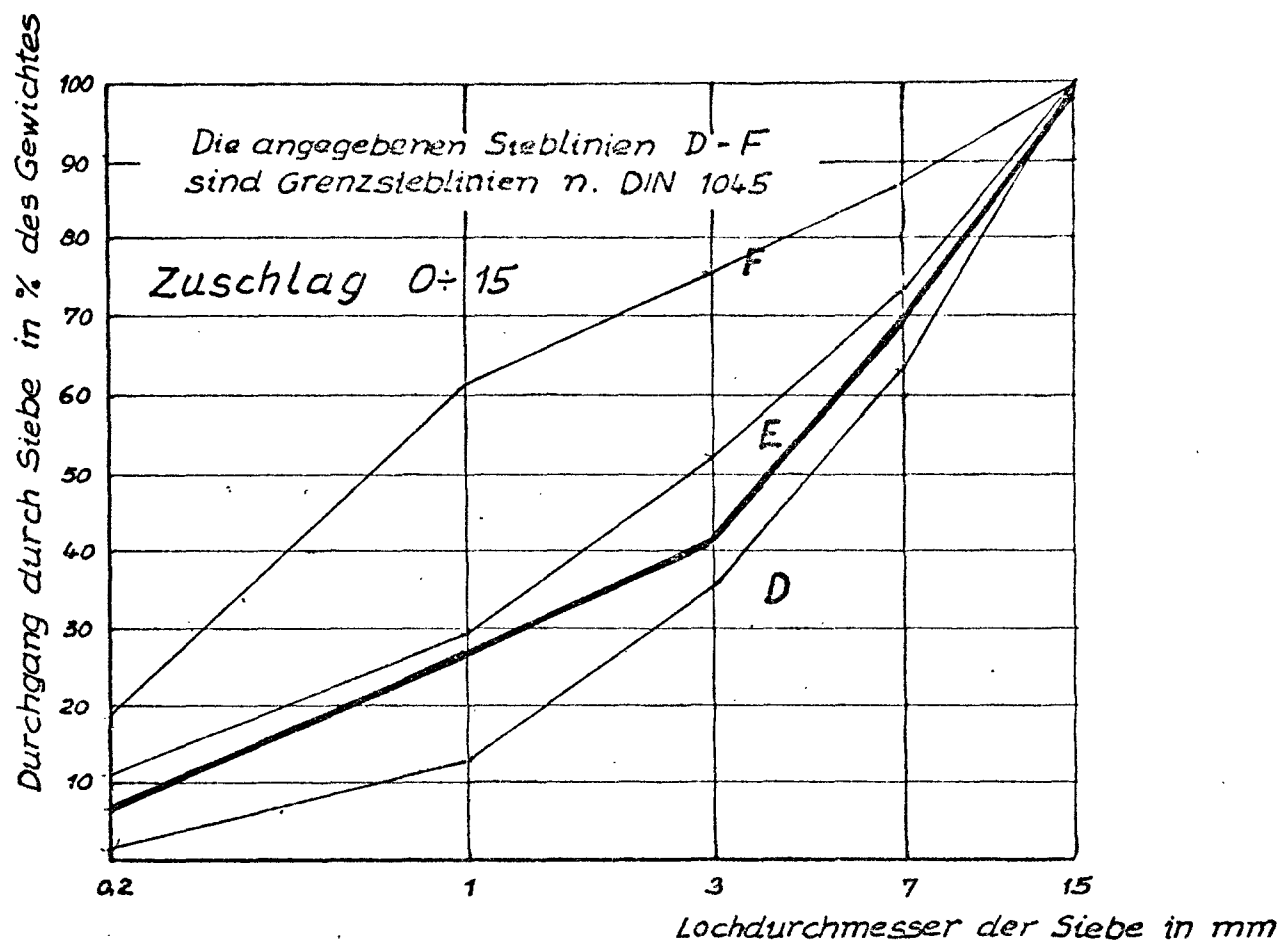


Abb.

Sieblinie des Gesamtzuschlagstoffes 0÷15
(rechnerisch ermittelt) \pm dem Zuschlag
im Versuchsбетон der Stütze III u. IV

Prüfung am : Nov. 1965

Abbauort : Grube Riemenschneider in Watenbüttel

Sieb ϕ Probe		Anteile [Gew.-%]					Über- korn > 15
		0-0,2	0,2-1	1-3	3-7	7-15	
1	einzel						
	Durchg.						
2	einzel						
	Durchg.						
3	einzel						
	Durchg.						
Mittel	einzel	6,7	20,2	14,5	27,9	28,4	2,3
	Durchg.	6,7	26,9	41,4	69,3	97,7	100

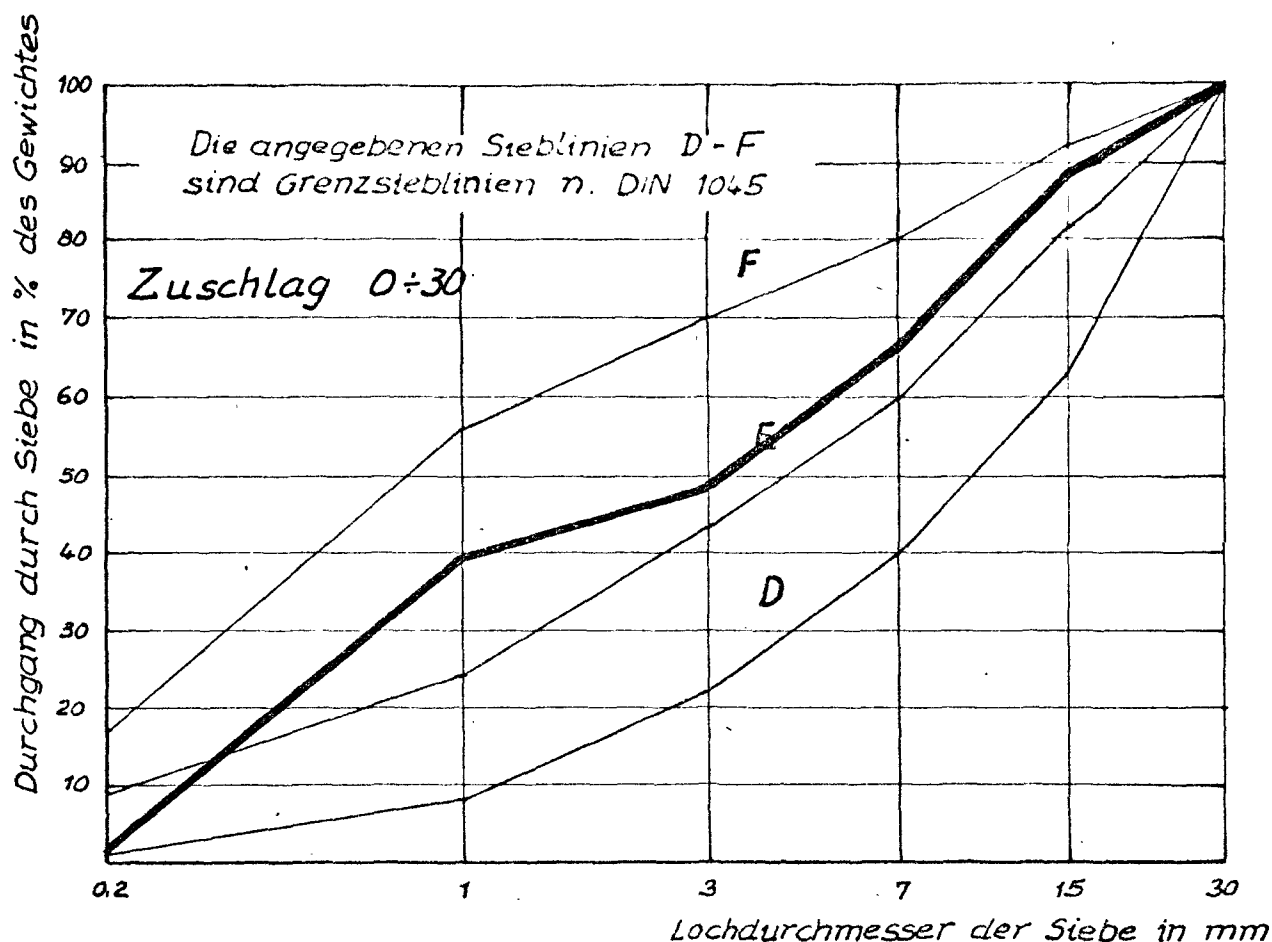


Abb.

Sieblinie einer zusammengesetzten Probe, bei der die einzelnen Fraktionen in prozentualen Anteilen [Gew.-%] dem Zuschlag in dem Versuchsbeton der Stützen V und VI entsprechen

Prüfung am : 9. 10. 67

Abbauort : Grube Riemenschneider in Watenbüttel

Sieb Probe φ		Anteile [Gew.-%]					
		0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 15	15 - 30
1	einzel	1,84	37,02	9,39	18,22	22,20	11,33
	Durchg.	1,84	38,86	48,25	66,47	88,67	100,00
2	einzel	1,80	37,36	9,09	18,08	21,07	12,60
	Durchg.	1,80	39,16	48,25	66,33	87,40	100,00
3	einzel	2,05	37,24	8,89	17,67	22,10	12,05
	Durchg.	2,05	39,29	48,18	65,85	87,95	100,00
Mittel	einzel	1,9	37,2	9,1	18,0	21,8	12,0
	Durchg.	1,9	39,1	48,2	66,2	88,0	100,0

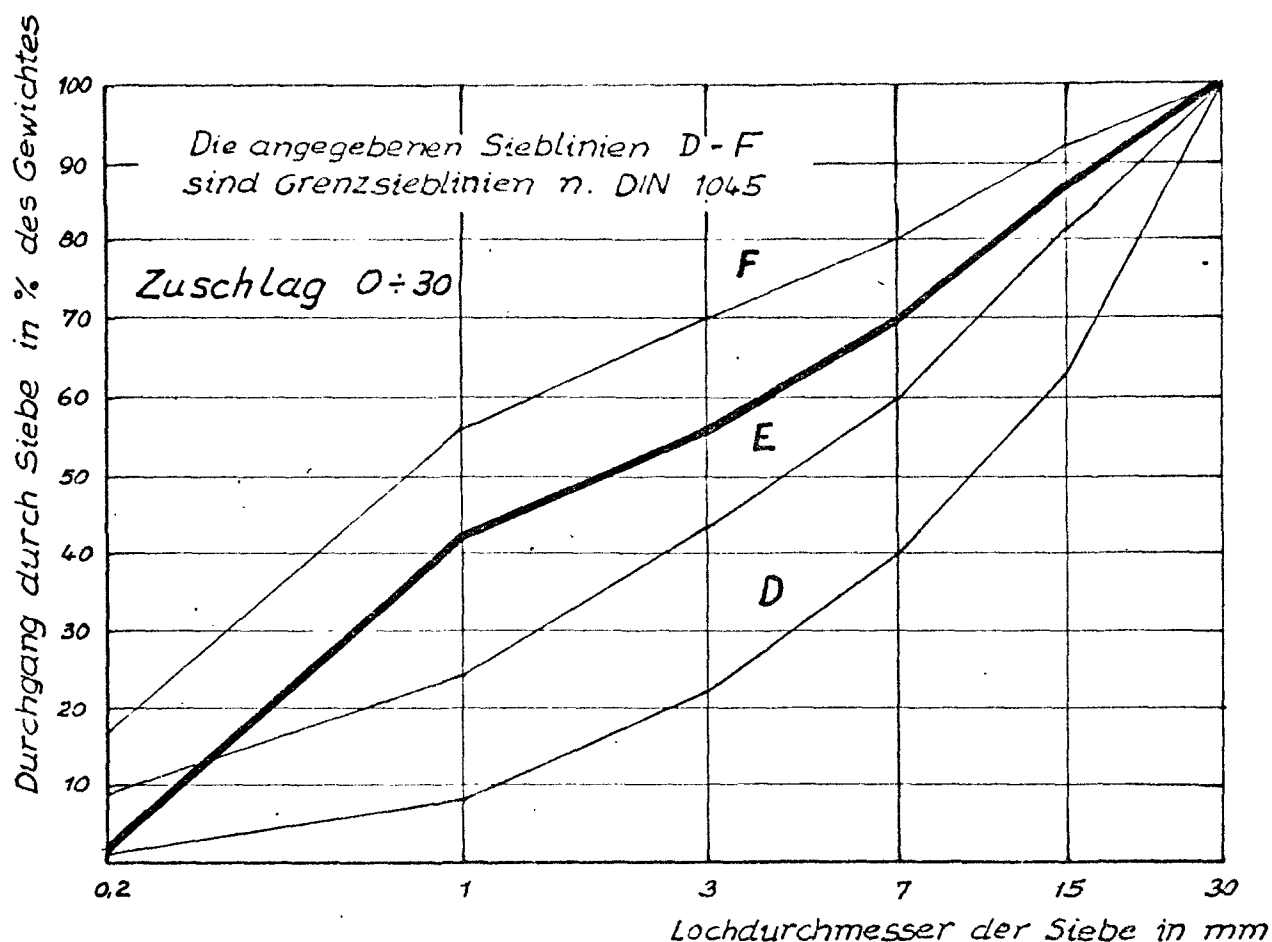


Abb.

Sieblinie einer zusammengesetzten Probe, bei der die einzelnen Fraktionen in prozentualen Anteilen [Gew.-%] dem Zuschlag in dem Versuchsbeton der Stützen VII und VIII entsprechen.

Prüfung am : 14. 1. 67

Abbauort : Grube Riemenschneider in Watenbüttel

Sieb Probe φ		Anteile [Gew.-%]						Über- korn > 30
		0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 15	15 - 30	
1	einzel							
	Durchg.							
2	einzel							
	Durchg.							
3	einzel							
	Durchg.							
Mittel	einzel	2,1	39,0	14,3	13,6	16,8	13,3	0,1
	Durchg.	2,1	41,9	56,2	69,0	86,6	99,9	100

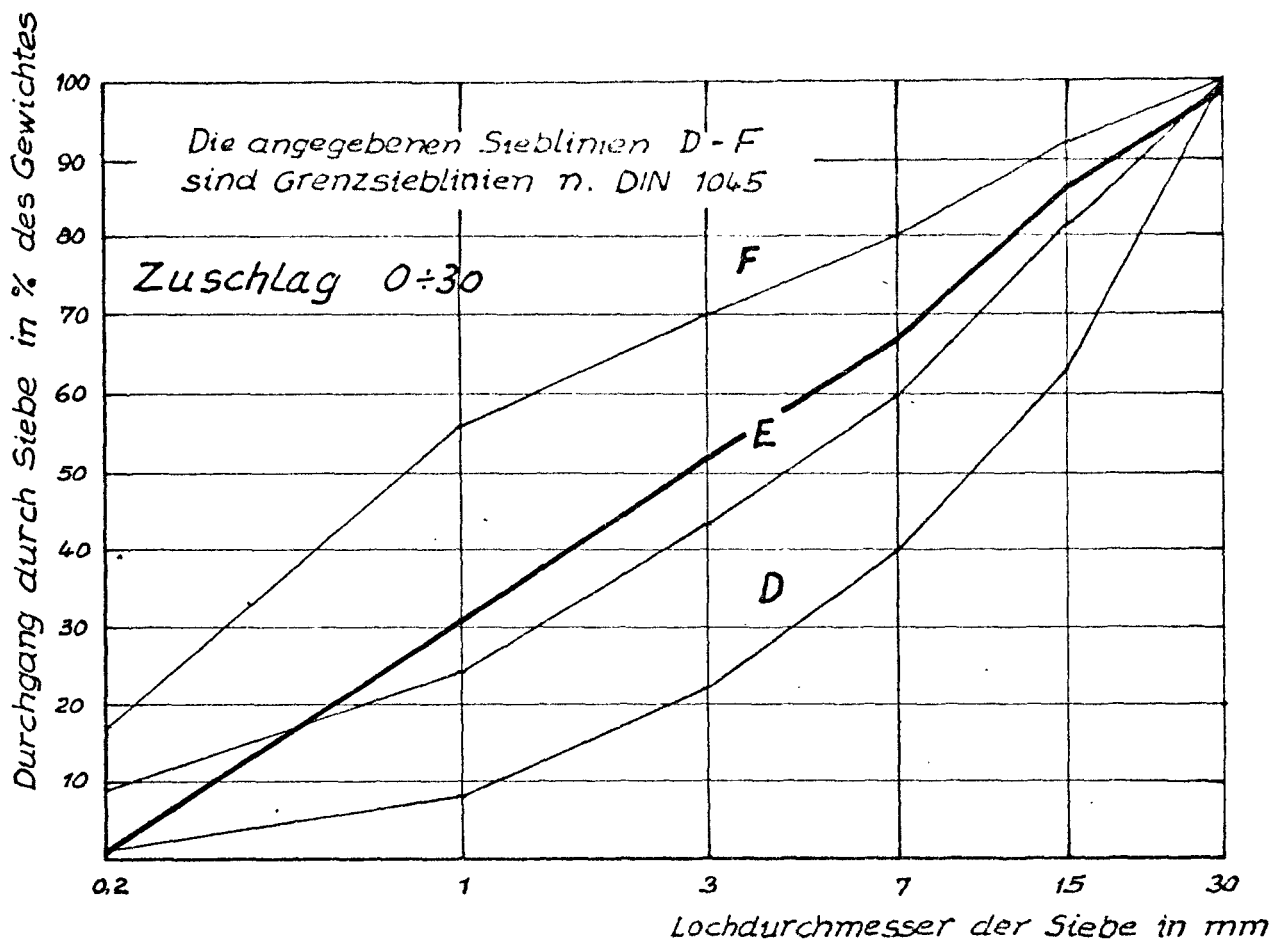


Abb.

Sieblinie des Gesamtzuschlagstoffes 0-30
(rechnerisch ermittelt), \pm dem Zuschlag
im Versuchsbeton der Stützen IX u. X

Prüfung am : Juni 1969
Abbauort : Gemarkung Wense, bzw. Harvesse

Sieb φ Probe		Anteile [Gew.-%]						Über- korn > 30
		0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 15	15 - 30	
1	einzeln							
	Durchg.							
2	einzeln							
	Durchg.							
3	einzeln							
	Durchg.							
Mittel	einzeln	1,4	29,3	21,4	15,3	18,7	12,7	1,2
	Durchg.	1,4	30,7	52,1	67,4	86,1	98,8	100

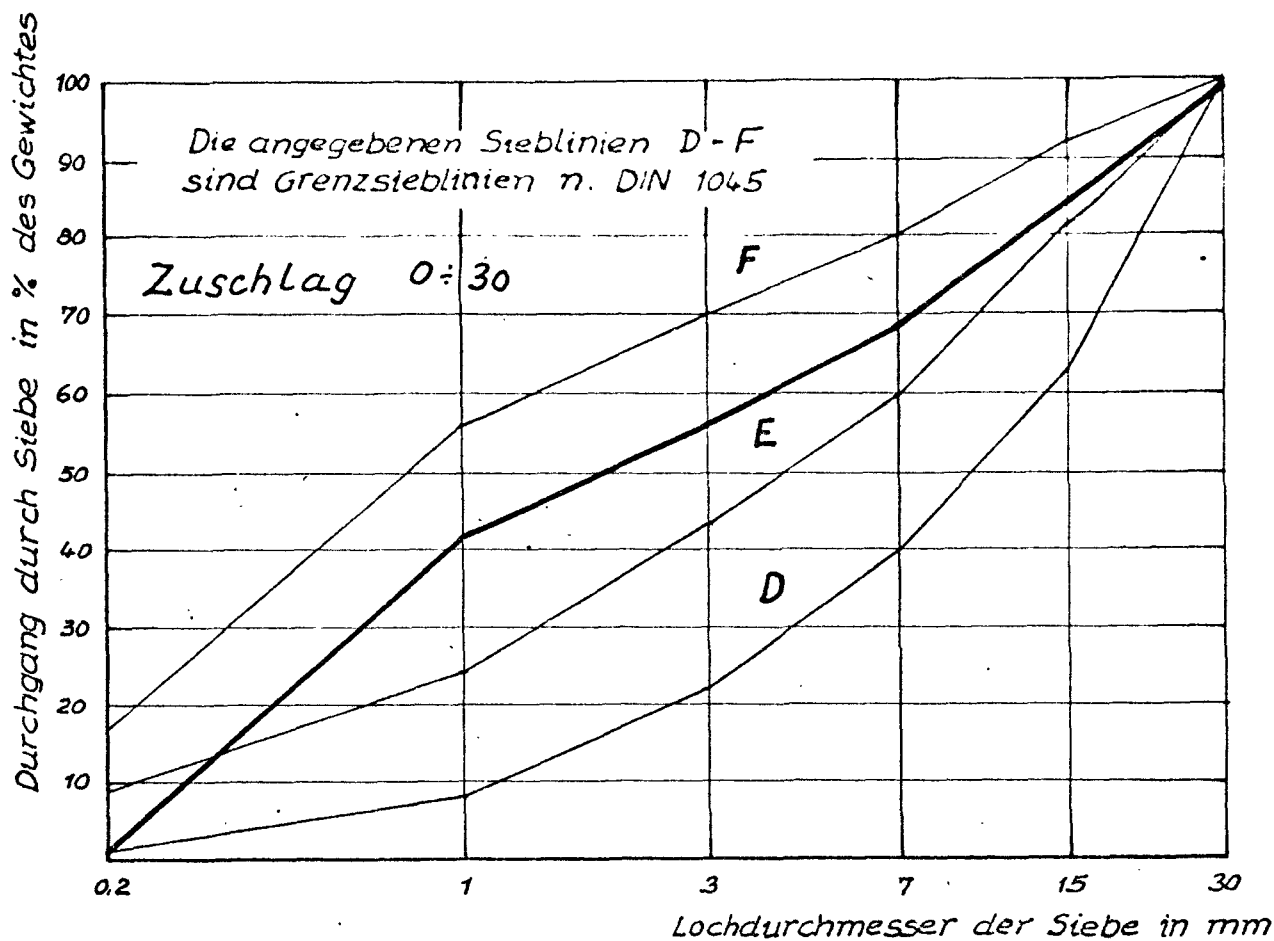


Abb.

Sieblinie des Gesamtzuschlagstoffes 0 - 30
(rechnerisch ermittelt) ; \pm dem Zuschlag
im Versuchsbeton der Stütze XI u. XII

Prüfung am : August 1969

Abbauort : Gemarkung Wense , bzw. Harvesse

Sieb Probe ϕ		Anteile [Gew.-%]						Über- korn > 30
		0 - 0,2	0,2 - 1	1 - 3	3 - 7	7 - 15	15 - 30	
1	einzel							
	Durchg.							
2	einzel							
	Durchg.							
3	einzel							
	Durchg.							
Mittel	einzel	1,3	41,0	13,7	12,7	15,2	15,4	0,7
	Durchg.	1,3	42,3	56,0	68,7	83,9	99,3	100

Zementprüfung nach DIN 1164

Bemerkungen:	Versuch - Nr.:	I	II	III	IV						
	Lieferwerk:	Norddeutsche Portland-Cementfabriken AG Werk Allemania Höver/Hann.									
	Zementart u.-Gütek.	PZ 275	PZ 275	PZ 275	PZ 275						
	Lieferdatum:	18.9.65	15.1.66	14.11.65	15.1.66						
	Datum d. Herstellg.	20.9.65	24.1.66	25.11.65	24.1.66						
	Uhrzeit d. Herstellg.	11 ⁰⁰	8 ³⁰	8 ⁴⁰	8 ³⁰						
Versuchsergebnisse und Einflüsse	Wasserzusatz (Gew.%)	26,3	26,7	27							
	Abbindebeginn n. Std.	2h 32'	3h 17'	3h 1'	vergl.						
	Abbindeende n. Std.	3h 34'	4h 28'	4h 32'	unter						
	Lufttemperatur in °C	20	20	20	Versuch						
	Wasserzementwert	0,6	0,6	0,6	LK II						
	Ausbreitmaß in cm	19,1	19,0	19,2							
	Raumbeständigkeit (Koch- u. Dauerpr.)	bestand	bestand.	bestand.							
	Prüfungen	Datum d. Prüfung									
Rohwichte in t/m ³											
Biegezugfestgkt. kp/cm ²											
Druckfestgkt. kp/cm ²											
Datum d. Prüfung											
Rohwichte in t/m ³											
Biegezugfestgkt. kp/cm ²											
Druckfestgkt. kp/cm ²											
Datum d. Prüfung		27.9.65	31.1.66	2.12.65							
Rohwichte in t/m ³		2,280	2,285	2,263							
Biegezugfestgkt. kp/cm ²		70,3	62,4	56,8							
Druckfestgkt. kp/cm ²		308	346,3	317,3							
Datum d. Prüfung		17.10.65	21.2.66	23.12.65							
Rohwichte in t/m ³		2,283	2,292	2,292							
Biegezugfest. kp/cm ²		83,8	85,1	78,7							
Druckfestgkt. kp/cm ²		478,0	451,5	470,8							

Frischbetoneigenschaften

Bemerkungen	Versuch - Nr.:	I	II	III	IV						
	Datum d. Herstellg.:	27.9.65	10.2.66	24.11.65	20.1.66						
	Uhrzeit d. Herstellg.:	10 ⁰⁰	10 ³⁰	11 ³⁰	11 ³⁰						
Wasserzementwert	Sollwert:	0,818	0,800	0,781	0,815						
	Darrprobe:	79,5%	9,95%	9,9%	10,15%						
Verdichtungs- willigkeit	Verdichtungsart:	Innenrüttler			15 sec.						
	Setzmaß in mm	5	28	27	22						
	Ausbreitmaß in cm	42,5	42	41,5	38,5						
Frischbeton- raumgewicht aus	Luftgehalt am Manometer in %	2,5	1,0	1,5	1,0						
	Luftgehaltprüfg. t/m ³										
	3 Würfel 20cm in t/m ³	2,304	2,421	2,315	2,325						
Frischbeton- estraumgev.	3 Zylinder 15/30cm t/m ³										
	Luftgeh.-Prüfg. in t/m ³										
Bemerkung.	Soll lt. Mischrezept. t/m ³										

Zementprüfung nach DIN 1164

Bemerkungen:	Versuch - Nr.:		V		VI		VII		VIII	
	Lieferwerk:	Werk Höver / Hannover			Elm Kreis-Zement,		Werk		Hemkenrode	
	Zementart u. Gütekl.		PZ 275		PZ 275		PZ 275		PZ 275	
	Lieferdatum:		1.9.67		26.9.67		22.2.68			
	Datum d. Herstellg.		5.9.67		16.10.67		29.2.68			
	Uhrzeit d. Herstellg.		10 ⁰⁰		10 ⁴⁵		10 ³⁰			
Versuchsergebnisse und Einflüsse	Wasserzusatz (Gew.%)		26,3		27,7		27,8			
	Abbindebeginn n. Std.		2h 23'		3h 14'		3h 11'			
	Abbindeende n. Std.		3h 16'		4h 10'		4h 14'			
	Lufttemperatur in °C		20		20		20			
	Wasserzementwert		0,6		0,6		0,6			
	Ausbreitmaß in cm		18,3		18,8		18,4			
	Raumbeständigkeit (Koch- u. Dauerpr.)		be- standen		be- standen		be- standen			
Prüfungen	nach 1 Tag									
	Datum d. Prüfung									
	Rohwichte in t/m ³									
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²									
	Druckfestgkt. kp/cm ²									
	nach 3 Tagen									
	Datum d. Prüfung									
	Rohwichte in t/m ³									
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²									
	Druckfestgkt. kp/cm ²									
	nach 7 Tagen									
	Datum d. Prüfung		12.9.67		23.10.67		7.3.68			
	Rohwichte in t/m ³		2,289		2,292		2,274			
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²		63,7		60,2		54,2			
	Druckfestgkt. kp/cm ²		381,5		299,0		303,5			
	nach 28 Tagen									
	Datum d. Prüfung		3.10.67		13.11.67					
	Rohwichte in t/m ³		2,286		2,301					
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²		85,6		76,2					
	Druckfestgkt. kp/cm ²		467,5		402,2					

Frischbetoneigenschaften

Bemerkungen	Versuch - Nr.:		V		VI		VII		VIII	
	Datum d. Herstellg.:		13.9.67		2.10.67		26.2.68		6.3.68	
	Uhrzeit d. Herstellg.:		10 ³⁰		10 ³⁰		10 ³⁰		14 ⁴⁵	
Wasserzementwert	Sollwert:		0,630		0,630		0,620		0,620	
	Darrprobe:		0,609		0,647		0,605		0,644	
Verdichtungs- willigkeit	Verdichtungsart:				Innenrüttler					
	Setzmaß in mm		10		12		16		15	
	Ausbreitmaß in cm		36		33		36,5		35	
Frischbeton- raumgewicht aus	Luftgehalt am Manometer in %		3,4		1,3		2,3		0,8	
	Luftgehaltprüfg. t/m ³									
	3 Würfel 20cm in t/m ³		2,280		2,395		2,370		2,382	
Frischbeton- festraumgev.	3 Zylinder 15/30cm t/m ³									
	Luftgeh.-Prüfg. in t/m ³									
Bemerkung	Soll lt. Mischrezept t/m ³									

Zementprüfung nach DIN 1164

Bemerkungen:	Versuch - Nr.:		IX		X		XI		XII		
	Lieferwerk:	Allemania Werk Höver/Hann.					Elmkreis-Zement Werk Hemkenrode				
	Zementart u. Gütekl.		PZ 275				PZ 275				
	Lieferdatum:										
	Datum d. Herstellg.				nicht geprüft,						
Versuchsergebnisse und Einflüsse	Uhrzeit d. Herstellg.				vergl. Versuch IX ÷ VIII						
	Wasserzusatz (Gew%)										
	Abbindebeginn n. Std.										
	Abbindeende n. Std.										
	Lufttemperatur in °C										
	Wasserzementwert										
	Ausbreitmaß in cm										
	Raumbeständigkeit (Koch- u. Dauerpr.)										
Prüfungen	Datum d. Prüfung										
	Rohwichte in t/m ³										
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²										
	Druckfestgkt. kp/cm ²										
	Datum d. Prüfung										
	Rohwichte in t/m ³										
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²										
	Druckfestgkt. kp/cm ²										
	Datum d. Prüfung										
	Rohwichte in t/m ³										
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²										
	Druckfestgkt. kp/cm ²										
	Datum d. Prüfung										
	Rohwichte in t/m ³										
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²										
	Druckfestgkt. kp/cm ²										
	Datum d. Prüfung										
	Rohwichte in t/m ³										
	Biegezugfestgkt. kp/cm ²										
	Druckfestgkt. kp/cm ²										

Frischbetoneigenschaften

Bemerkungen	Versuch - Nr.:		IX		X		XI		XII		
	Datum d. Herstellg.:		5.6.69		7.7.69		13.8.69		11.9.69		
Wasserzementwert	Uhrzeit d. Herstellg.:		~ 12 ⁰⁰		~ 12 ⁰⁰		~ 11 ¹⁵		~ 11 ⁰⁰		
	Sollwert:		0,60		0,60		0,60		0,60		
Verdichtungsart	Darrprobe:		0,67		0,60		0,63		0,63		
	Verdichtungsart:				Innenrüttler		φ 35 mm				
	Setzmaß in mm		1,5		-		-		-		
Luftgehalt am Manometer in %	Ausbreitmaß in cm		35		118 u. Walz		114 u. Walz		116 u. Walz		
	Luftgehaltprüfg. t/m ³		3,1		3,9		2,1		1,6		
	3 Würfel 20cm in t/m ³		2,373		2,317		2,805		2,316		
Frischbetonraumgewicht aus	3 Zylinder 15/30cm t/m ³		-		-		-		-		
	Luftgeh.-Prüfg. in t/m ³										
	Soll lt. Mischrezept. t/m ³										
Bemerkung											

T E I L I I

Über den Einfluß des Kriechens auf die Ausbiegung schlanker Stahlbetonstützen

K. Kordina und R.F. Warner

V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit wurde durch die Neufassung von DIN 1045 und DIN 4224 veranlaßt; sie versucht, die in DIN 4224 gegebenen Ansätze zur Abschätzung der Kriechausbiegungen schlanker Stahlbetonstützen zu begründen.

Im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig werden seit Jahren Langzeit-Belastungsversuche an schlanken Stahlbetonstützen durchgeführt; die hierbei erzielten Ergebnisse dienen hier als Grundlage. Die Deutung und Aufbereitung dieser Versuchsergebnisse erfolgt mit Hilfe eines Rechenprogramms, das R.F. Warner während seines Studienaufenthaltes in der Technischen Universität Braunschweig aufgestellt hat.

An dieser Stelle sei der AIF (Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V.) für die Förderung der Versuchsarbeiten und der Alexander v. Humboldt-Stiftung für die Unterstützung der theoretischen Arbeiten durch ein Forschungsstipendium gedankt. Den Herren Dipl.-Ing. O. Hjorth, Bauing. H. Klinkert und cand. ing. C. Wunnenberg danken wir für ihre Mitarbeit bei den experimentellen und rechnerischen Untersuchungen.

Die Verfasser

Braunschweig, im Januar 1971

Liste der Bezeichnungen

b	Breite des Querschnittes
d	Höhe des Querschnittes
d'	Abstand zwischen den Achsen der Zug- und Druckbewehrung
e_u	ungewollte Ausmitte
c	planmäßige Ausmitte
c_o	$= c + e_u$; Anfangsexzentrizität
Δc_o	zusätzliche elastische Ausbiegung zum Zeitpunkt $t = 0$
c_{to}	$= c_o + \Delta c_o$; Gesamtausmitte unmittelbar nach dem Aufbringen der Last zum Zeitpunkt $t = 0$
c_t	Gesamtausmitte zum Zeitpunkt t
Δc_t	$= c_t - c_{to}$; im Zeitraum t eintretender Zuwachs der Ausmitte
Δc_t^e	elastischer Anteil von Δc_t
Δc_t^{ψ}	Kriechanteil von Δc_t
c_o'	$= \alpha_f \cdot c_o$; erster Term einer Fourier-Reihe zur Darstellung der über die Stützenlänge veränderlichen Anfangsausmitte c_o
c_{to}'	$= c_o' \frac{\gamma}{\gamma-1} \approx c_o' \frac{\gamma'}{\gamma'-1}$ modifizierte Gesamtausmitte zum Zeitpunkt $t = 0$
c_t'	modifizierte Gesamtausmitte zum Zeitpunkt t
E	Elastizitätsmodul des Betons
E_s	Elastizitätsmodul des Stahls
$(EI)_w$	wirksame Steifigkeit für die gesamte Stütze
I	Trägheitsmoment des Betonquerschnitts, hier $I = \frac{bd^3}{12}$
k	Kernweite, hier $k = d/6$
K_o	Anfangskrümmung des Querschnitts zum Zeitpunkt $t = 0$
K_t	Krümmung zum Zeitpunkt t
L	Knicklänge
n	$= E_s/E$
F_e, F_e'	Querschnittsfläche der Zug bzw. Druckbewehrung
F_b	Beton-Querschnittsfläche

II

N_{φ}	Dauerlast
N_U	Bruchlast unter Kurzzeitbelastung im Versuch
t_0	Belastungsalter; t_{φ} = Belastungsdauer
α_f	$= c'_0/c_0$
α_k	$= \varphi'_t/\varphi_t$
α_s	$= (EI)_w/EI$
β	$= 3 \cdot n \cdot \gamma^2 \cdot \mu_{\text{ges}}^2$; (Rechenwert)
γ	$= d'/d$
δ	ein von der Form der Anfangsexzentrizität c_0 abhängiger Beiwert
ϵ_2	Dehnung zum Zeitpunkt t der Zugbewehrung
ϵ_3	Dehnung zum Zeitpunkt t der Druckbewehrung
$\epsilon_{s\infty}$	Endschwindmaß
ν	$= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{N_{\varphi} \cdot L^2}$
ν'	$= \frac{\pi^2 \cdot \alpha_s \cdot E \cdot I}{N_{\varphi} \cdot L^2}$
μ	= geometrischer Bewehrungsgehalt der Zugbewehrung
μ'	= geometrischer Bewehrungsgehalt der Druckbewehrung
μ_{ges}	$= \mu + \mu'$; Gesamtbewehrungsgehalt
φ_t	Kriechzahl zum Zeitpunkt t
φ_{∞}	Endkriechzahl
σ_2	Betonspannung zum Zeitpunkt t in Faser 2
σ_3	Betonspannung zum Zeitpunkt t in Faser 3
σ_s	Spannung der Zugbewehrung zum Zeitpunkt t in Faser 2
σ'_s	Spannung der Druckbewehrung zum Zeitpunkt t in Faser 3
$\beta_s; \epsilon_s$	Fließspannung bzw. Fließdehnung des Stahles
$\beta_R; \epsilon_u$	Festigkeitsgrenze bzw. Grenzstauchung des Betons, $\beta_R = 0,85 \beta_w$
β_w	Würfel Festigkeit des Betons

1. E i n l e i t u n g

Der Einfluß des Kriechens auf das Verhalten von Betonstützen ist von Dischinger in seinen Arbeiten von 1937 und 1939 erstmals eingehend untersucht worden. Für die Gesamtausmitte zum Zeitpunkt t einer unter Dauerlast beanspruchten, gelenkig gelagerten Stütze wird in [1, 2] die folgende Formel abgeleitet

$$c_t = c_{t_0} \cdot e^{\frac{\varphi_t}{\nu-1}} \quad (1)$$

worin ν einen Sicherheitsfaktor bezogen auf die Dauerlast N_{φ} ,

$$\nu = \frac{\pi^2 E I}{L^2 N_{\varphi}} \quad (2)$$

L die Knicklänge

und φ_t die Kriechzahl zum Zeitpunkt t bedeuten. Die Ausmitte c_{t_0} zum Zeitpunkt $t = 0$, d.h. unmittelbar nach dem Aufbringen der Last, besteht aus der Anfangsexzentrizität c_0 und einer zusätzlichen elastischen Ausbiegung Δc_0 ; der Zusammenhang zwischen c_{t_0} und c_0 ergibt sich zu

$$c_{t_0} = c_0 \cdot \frac{\nu}{\nu-1} \quad (3)$$

somit wird

$$\Delta c_0 = c_{t_0} - c_0 = c_0 \cdot \frac{1}{\nu-1}$$

Der im Zeitraum t erscheinende Zuwachs Δc_t besteht aus einem plastischen, kriechverursachten Anteil Δc_t^{φ} und einem elastischen Anteil Δc_t^e , wobei

$$\Delta c_t^{\varphi} = c_0 \left[e^{\frac{\varphi_t}{\nu-1}} - 1 \right] \quad (4)$$

und

$$\Delta c_t^e = c_0 \cdot \frac{1}{\nu-1} \cdot \left[e^{\frac{\varphi_t}{\nu-1}} - 1 \right] \quad (5)$$

zu setzen ist.

Die sehr einfache, geschlossene Form der obigen Gleichungen ist für praktische Berechnungen sehr gut geeignet, doch ist zu betonen, daß bedeutsame Vereinfachungen getroffen werden mußten, um diese bequeme Form zu gewinnen. Von besonderem Interesse sind hier folgende Annahmen, die der Ableitung der Gleichungen zugrunde liegen:

1. Der Verlauf der Anfangsausmitte c_0 längs der Stabachse entspricht der Knickfigur der Stütze.
2. Der Querschnitt der Stütze ist homogen; d.h. unter anderem, daß der Einfluß der Stahleinlagen vernachlässigt wird und daß sich der Querschnitt im Zustand I befindet.
3. Der Beton verhält sich unter Kurzzeitbelastung linear elastisch.
4. Für einen beliebigen Zeitpunkt t ist die Querschnittskrümmung K_t infolge eines konstant einwirkenden Momentes aus der Beziehung

$$K_t = K_0 \cdot [1 + \varphi_t] \quad (6)$$

zu erhalten, worin K_0 die Anfangskrümmung und φ_t die Kriechzahl bedeuten.

Weil diese Annahmen einem stark vereinfachten Modell des wirklichen Verhaltens zugeordnet sind, worin mehrere wichtige, dem Stahlbeton eigentümliche, Erscheinungen nicht berücksichtigt werden, müssen die obigen Gleichungen für die praktische Berechnung des Kriecheinflusses entsprechend modifiziert und in ihrem Gültigkeitsbereich begrenzt werden.

Mit Hilfe einer modernen Rechenanlage ist es möglich, eine weit eingehendere Untersuchung des wirklichen Verhaltens einer Stahlbetonstütze unter Dauerlast vom Gebrauchs- bis zum Erschöpfungszustand durchzuführen. Solch eine Untersuchung ist kürzlich im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau an der Technischen Universität Braunschweig abgeschlossen worden. [3]

Für die praktische Berechnung von Stahlbetonbauteilen sind jedoch möglichst einfache Gleichungen noch unersetzlich; Zweck dieses Beitrages ist, einfache Veränderungen der Gleichungen 1 - 5 zu empfehlen, um sie für eine konservative Schätzung des kriechebedingten Ausbiegungszuwachses einer Stahlbetonstütze heranziehen zu können. Sie erhalten hierdurch den Charakter von Näherungslösungen, die mit den theoretischen, in [3] nachgewiesenen Ergebnissen und mit den im Institut für Baustoffkunde durchgeführten Langzeit-Kriechversuchen von schlanken Stahlbetonstützen verglichen werden.

Entsprechend den erwähnten Grundvoraussetzungen der Dischinger'schen Lösung ist zu erwarten, daß weniger schwerwiegende Abweichungen vom wirklichen Verformungsverhalten auftreten, solange der Bereich der Gebrauchslasten nicht überschritten wird und damit die von Dischinger getroffene Voraussetzung spannungsproportionalen Betonkriechens nicht grob verletzt wird. In der Neufassung von DIN 1045 (Ausgabe 1971) wird hinsichtlich der zeit- und lastabhängigen Verformungen grundsätzlich von dieser Hypothese Gebrauch gemacht, weswegen es naheliegend war, für die Beschreibung des Kriechverhaltens von Stahlbetonstützen auf eine Lösung zurückzugreifen, die ebenfalls einen linearen Zusammenhang zwischen kriechezeugender Spannung und Kriechverformung voraussetzt. In Übereinstimmung hiermit steht, daß DIN 1045 die Ermittlung der Kriechverformungen schlanker Stahlbetondruckglieder unter Gebrauchslast erlaubt.

2. Anwendungsbereich

Gültigkeits- und Genauigkeitsgrenzen

Die oben erwähnten vereinfachten Grundlagen der Gleichungen 1 - 6 führen nicht grundsätzlich zu einer konservativen Schätzung der Kriechausbiegungen. In vielen Fällen wird die mit der Zeit eintretende Ausbiegungsvergrößerung nach Gl. 4 stark unterschätzt.

Aufgabe dieses Abschnittes ist, wichtige Einflußgrößen zu erläutern, die in den Gleichungen 1 - 6 nicht berücksichtigt werden, und die hierdurch bedingten Gültigkeitsgrenzen zu präzisieren.

2.1 Verlauf der Momente I. Ordnung

Der Verlauf der Anfangsausmitte c_0 und damit der Momente I. Ordnung soll, wie Gl. 3 voraussetzt, zur Knickfigur affin sein. Wie Bild 1a zeigt, ist in diesem Falle c_0 eher als konstruktive Imperfektion einer geraden, gelenkig gelagerten Stütze zu betrachten, während in Wirklichkeit die Ursprungsmomente (Momente I. Ordnung) meist so verlaufen, wie in Bild 1b-d gezeigt. Bei beliebigem Verlauf der Ursprungsmomente, aber unter Voraussetzung linear elastischen Verhaltens des Baustoffes, darf Gl. 3 in folgender Weise erweitert werden:

$$c_{t_0} = c_0 \cdot \frac{r + \int}{r - 1} \quad (3a)$$

Der Beiwert \int ist von der Form der Anfangsmomente abhängig; für den in Bild 1b dargestellten Fall ergibt sich für \int beispielsweise der Wert 0,273 [1, 2].

Die Auswirkung eines beliebigen Verlaufes der Ursprungsmomente auf die zusätzliche, im Zeitraum t eintretende Ausbiegung Δc_t ist nicht so einfach zu erfassen. Jedoch darf die Anfangsmomentenlinie als Summe einer Reihe von Momentenlinien betrachtet werden, ähnlich

einer harmonischen Analyse, wobei

$$N_{\varphi} \cdot c_0 = N_{\varphi} \cdot [c_0' + c_0'' + \dots] \quad (7)$$

gesetzt wird.

Jede Momentenlinie entspricht einer Knickfigur. Für gewöhnlich darf der gesamte elastische und plastische Zuwachs der Ausbiegung in Zeitraum t aus jener Momentenlinie abgeleitet werden, die der Knickfigur niedrigster Ordnung zugeordnet ist. Die Kriechberechnung wird in diesem Falle auf das erste Glied c_0' beschränkt.

Um bei der Behandlung des Kriechproblems den Verlauf der Ursprungsmomente über die Stützenlänge zu berücksichtigen, ersetzen wir c_0 durch c_0' . Weil c_0' jetzt einer Knickfigur entspricht, wird δ zu Null und wir erhalten

$$c_{t0}' = c_0' \cdot \frac{V}{V-1} \quad (3b)$$

wobei

$$c_0' = \alpha_f \cdot c_0 \quad (8)$$

gesetzt wird.

Der Faktor α_f wird der Momentenlinie der ersten Knickfigur entnommen; einige typische Werte für den Querschnitt in halber Stützenhöhe sind in Bild 1 angegeben. α_f wird in vielen Fällen größer als 1,0; dies trifft auch für den Fall eines über die Stützenlänge gleichbleibenden Momentes zu, der zu den Grundannahmen des sogenannten Ersatzstabverfahrens zählt.

2.2 Biegesteifigkeit des Querschnitts

In Gl. 1 - 5 wird die Biegesteifigkeit des Stützenquerschnittes durch den Wert EI ausgedrückt. Dieser Wert wird als konstant und unabhängig von der Längskraft N_{φ} angesehen, wie es der Voraussetzung eines homogenen Querschnittes und dem linearen Verhalten des Baustoffes entspricht.

In Wirklichkeit ist aber die wirksame Steifigkeit des Querschnittes

$$(E \cdot I)_w = M/K = c \cdot N_y / K$$

erheblich von der Ausmittigkeit der Längskraft abhängig.

Wird z.B. c größer als die Kernweite k , so sind Risse im Querschnitt (Übergang nach Zustand II) und damit ein deutlicher Abfall der Biegesteifigkeit zu erwarten. Dagegen rufen die Stahleinlagen eine Erhöhung der Steifigkeit hervor.

Die Größe der Dauerlast N_y dürfte ebenfalls eine nicht unwesentliche Rolle spielen: Je höher die Last, desto höher werden die Betondruckspannungen. Der wirksame E - Modul des Betons wird wegen der Krümmung der Spannungs-Dehnungslinie bei höheren Spannungen entsprechend kleiner.

Schließlich ist zu bemerken, daß die Ausmittigkeit c - und damit auch die Steifigkeit - über die Stützenlänge hinweg sehr veränderlich sein können. Wir müssen uns hier damit begnügen, eine "wirksame" oder "Ersatz"- Steifigkeit zu ermitteln, die das Verhalten der ganzen Stütze näherungsweise wiedergibt.

Um die in weiten Grenzen schwankende, wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_w$ approximativ darzustellen, wird

$$(E \cdot I)_w = \alpha_s \cdot (E \cdot I) \quad (9)$$

gesetzt, wobei sich (EI) auf den Betonquerschnitt in Zustand I beziehen soll. Der Faktor α_s soll die komplexen Abhängigkeiten vor allem von der Exzentrizität c und der Stahlgehalte μ und μ' abdecken.

Es darf daran erinnert werden, daß die reine "Eulerknicklast" ihre physikalische Bedeutung verliert, sobald wirklichkeitsnahe Verhältnisse betrachtet werden. Der Parameter μ ist dann nicht mehr ein Sicherheitsfaktor, sondern ein Beiwert. Mit Einführung von Gl. (9) ist jedoch auch in den Gl. 1 - 5 μ durch μ' zu ersetzen:

$$\mu' = \frac{\pi^2 \alpha_s \cdot (EI)}{L^2 \cdot N_y} \quad (10)$$

2.3 Kriechbedingte Krümmungsänderung im Querschnitt

Gl. 6 dient als Grundlage für die Berechnung des Kriechvorganges. Diese Gleichung kann aber nur gültig sein für den Fall eines homogenen - also unbewehrten-Querschnittes unter konstantem Moment, wobei das Kriechen auf der Zugseite genau so abläuft wie auf der Druckseite und Rißbildungen ausgeschlossen sind. Stahlbetonquerschnitte erfüllen diese Voraussetzungen nicht:

Die Stahleinlagen auf der Druckseite rufen nämlich stets eine wichtige Bremswirkung gegenüber dem Betonkriechen hervor infolge der teilweisen Umlagerung der Druckkraft vom Beton auf den Stahl.

Wenn die Ausmittigkeit c die Kernweite k nicht überschreitet, so daß der ganze Querschnitt unter Druckspannungen steht, wirken die Bewehrungseinlagen beider Querschnittsseiten bremsend auf die Kriechverformungen ein.

Überschreitet dagegen c die Kernweite und befindet sich der Querschnitt im Zustand II, wird die gesamte Zugkraft im wesentlichen vom Stahl übernommen, so daß Kriechvorgänge auf der Zugseite vernachlässigt werden können.

Aus diesen Überlegungen ist zu vermuten, daß der tatsächliche Kriechzuwachs der Krümmung beträchtlich kleiner sein dürfte, als Gl. 6 angibt. Es wird daher eine fiktive Kriechzahl φ'_t für den gesamten Querschnitt eingeführt

$$\varphi'_t = \alpha_K \cdot \varphi_t \quad (11)$$

wobei nun

$$K_t = K_0 \cdot (1 + \varphi'_t) \quad (12)$$

gilt.

Der Beiwert α_K ist offensichtlich von den Parametern μ , μ' , c/k beeinflußt, bleibt aber kleiner als 1,0

$$\alpha_K < 1,0 .$$

2.4 Weitere Einflüsse

Die bisher diskutierten Einflußgrößen werden durch die Umwandlung von Gl. 1, 3 und 4 in

$$c_t = c'_{t_0} \cdot e^{\frac{\varphi'_t}{v'-1}} = c'_0 \cdot \frac{v'}{v'-1} \cdot e^{\frac{\varphi'_t}{v'-1}} \quad (1a)$$

$$c'_0 = \alpha_f \cdot c_0 \quad (8)$$

$$\Delta c_t^{\varphi} = c'_0 \cdot \left[e^{\frac{\varphi'_t}{v'-1}} - 1 \right] \quad (4a)$$

berücksichtigt. In Abschnitt 3 dieses Beitrages werden geeignete Werte für φ'_t , in Abschnitt 4 solche für v' ermittelt.

Es gibt jedoch noch eine ganze Reihe zusätzlicher Nebenwirkungen die auch die zeitabhängige Stützensausbiegung beeinflussen können, und die hier kurz erwähnt werden sollen:

Für gewöhnlich wird z.B. angenommen, daß das Betonschwinden keinen Einfluß auf die Ausbiegung hat. Obgleich der Einfluß sehr klein sein dürfte, solange sich die Stütze im Zustand I befindet, ist in den meisten praktischen Fällen die Lastexzentrizität groß genug, um Risse in einer Teillänge der Stütze zu erzeugen.

In einem gerissenen Querschnitt ist jedoch die Schwindwirkung in der Zug- und Druckzone ziemlich unterschiedlich, so daß eine zusätzliche, schwindbedingte Ausbiegungsvergrößerung möglich ist, die bei Querschnitten mit schwacher Druckbewehrung nicht immer vernachlässigt werden sollte.

Die mit der Zeit veränderlichen Verbundeigenschaften sowie die Wechselwirkungen zwischen Stütze und angrenzenden Riegeln werden hier erwähnt, um deutlich werden zu lassen, daß es hier überhaupt nicht um eine grundlegende Untersuchung der zeitabhängigen Ausbiegungen von Stahlbetonstützen geht, sondern lediglich um eine einfache - und darum konservative - baupraktische Abschätzung des Kriecheinflusses.

3. K r i e c h e n i m Q u e r s c h n i t t

- A u s w e r t u n g d e s F a k t o r s α_k -

Eine umfassende Bestimmung des Faktors α_k würde eine allgemeine Analyse des Kriechvorganges in einem Stahlbetonquerschnitt erfordern, die außerhalb der Grenzen dieses Beitrages liegt; es werden daher nur einige einfache Fälle untersucht, um zu einer Schätzung der Größenordnung des Faktors α_k zu gelangen.

Betrachten wir einen Querschnitt im Zustand I ($c < k$) unter konstanter Längskraft N_y und konstantem Moment M und mit symmetrischer Bewehrung, $\mu = \mu' = 1/2 \cdot \mu_{ges}$ (vergl. Bild 2). Im Anhang A werden folgende Ausdrücke für die mit der Zeit eingetretene Krümmung K_t abgeleitet:

$$K_t = K_0 \cdot [1 + \varphi_t'] \quad (12)$$

worin

$$\varphi_t' = \frac{1}{\beta} \cdot [1 - e^{-\frac{\beta}{1+\beta} \cdot \varphi_t}] \quad (13)$$

und

$$\beta = 3 \cdot n \cdot \mu^2 \cdot \mu_{ges} > 0 \quad (14)$$

K_0 ist die Anfangskrümmung zum Zeitpunkt $t = 0$ und $n = E_s/E$ ist das Verhältnis der Elastizitätsmoduli der Werkstoffe Stahl und Beton.

Für den Fall $\beta = 0$, das heißt, wenn der Querschnitt nicht bewehrt ist, wird Gl. 12 zu

$$K_t = K_0 \cdot [1 + \varphi_t] \quad (6)$$

wie bei Dischinger vorausgesetzt.

Gl. 13 wurde benutzt, um typische Werte des Faktors $\alpha_k = \varphi_t' / \varphi_t$ für den Fall $c < k$ zu gewinnen, wobei Berechnungen mit den in Tabelle 1 angegebenen Werten von μ , μ und n durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind in Bild 3 zusammengestellt. Dort wurden auch Werte für α_k aufgenommen, die von Habel [4] empfohlen wurden.

Wie zu erwarten, nehmen die Werte mit zunehmendem Stahlgehalt erheblich ab. Eine konservative Schätzung der Werte α_k wird durch folgende Gleichung gegeben:

$$\alpha_k = 1,0 - 10 \cdot \mu_{ges} \quad (15)$$

oder, einfacher, durch

$$\alpha_k = 0,8 \quad (16)$$

Wird nun ein anderer Grenzfall betrachtet, nämlich ein Querschnitt unter reiner Biegung ($c \rightarrow \infty$), so ist aus verschiedenen Arbeiten zu erkennen [5], daß der Faktor α_k viel kleiner wird als für den oben untersuchten Fall. Für $\mu = \mu'$ wurden Werte von φ_t' zwischen 0,5 und 1,0 empfohlen, sogar bei $\varphi_{\infty} = 4,0$.

Weil im mittleren Teil einer kriechgefährdeten Stütze meist Risse zu erwarten sind, ist anzunehmen, daß die Gleichungen 15 und 16 in fast allen Fällen zu konservativen Schätzungen des Faktors α_k führen.

4. Wirkame Steifigkeit des Stützen- Querschnittes - Auswertung des Faktors α_s

Eine Ermittlung des Faktors α_s aus einfachen Überlegungen, ähnlich wie für α_k , ist nicht möglich. Deswegen wurde auf Versuchsergebnisse zurückgegriffen.

Im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig wurden neulich Langzeitversuche an 12 Stützen unter konstanter Dauerbelastung abgeschlossen. Weil die Belastung $2/3$ der Tragfähigkeit der Stützen nicht überschritt, kam es in keinem von diesen Versuchen zum Kriechversagen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind darum für die vorliegende Untersuchung gut geeignet.

Gleichung 1a läßt sich wie folgt umschreiben:

$$[c'_0 + \Delta c_0 + \Delta c_t] = [c'_0 + \Delta c_0] \cdot e^{\frac{\varphi'_t}{\nu' - 1}} \quad (1b)$$

wobei

$$\begin{aligned} c'_0 &= \alpha_f \cdot c_0 \\ \varphi'_t &= \alpha_k \cdot \varphi_t \end{aligned}$$

ist. Mit Hilfe von Gl. 1b wurde aus den beobachteten Werten Δc_t , Δc_0 und φ_t der zugeordnete Wert ν' für jede der 12 Stützen ausgerechnet.

Die Rechnungen wurden unter folgenden Annahmen viermal durchgeführt:

- | | | | |
|-----|--------------------|---|---------------------------------------|
| (a) | $\alpha_f = 1,0$ | ; | $\alpha_k = 0,8$ |
| (b) | $\alpha_f = 1,0$ | ; | $\alpha_k = 1,0 - 10 \cdot \mu_{ges}$ |
| (c) | $\alpha_f = 4/\pi$ | ; | $\alpha_k = 0,8$ |
| (d) | $\alpha_f = 4/\pi$ | ; | $\alpha_k = 1,0 - 10 \cdot \mu_{ges}$ |

Die wichtigsten Angaben zu den Stützenversuchen sind in Tabelle 2

zusammengefaßt; die rechnerisch gewonnenen α_s - Werte werden in Tabelle 3 zusammengestellt. Weitere Einzelheiten über die Langzeitversuche sind in Anhang B zu finden.

Die gewonnenen Werte für den Faktor α_s sind in den Bildern 4 und 5 graphisch dargestellt. Sie liegen zwischen 0,59 und 1,39. Unter Benützung der mehr geeigneten Annahmen (c) oder (d) ist eine konservative untere Grenze von

$$\alpha_s = 0,7$$

aus Bild 5 abzulesen.

Ergänzend hierzu ist zu bemerken, daß die Versuchswerte nicht als typisch betrachtet werden können. Die Querschnitte der Versuchsstützen sind sämtlich beträchtlich kleiner als die von normalen Stützen; es handelt sich eher um Modellversuche. Insbesondere liegt der Wert μ für die Stützen etwa bei 0,7. In der Praxis wäre ein Wert $\geq 0,8$ eher zu erwarten.

Weil aber die Lage der Stahleinlagen im Querschnitt einen wichtigen Einfluß auf die Biegesteifigkeit ausübt, ist anzunehmen, daß die Werte in Tabelle 2 und in den Bildern 4 und 5 erheblich auf der sicheren Seite liegen.

Um zusätzliche Informationen zu gewinnen, wurde eine Computeranalyse benutzt, worin das zeitliche Verhalten einer Stahlbetonstütze unter Dauerlast rechnerisch simuliert wird. Einzelheiten über das Rechenprogramm sind in [3] zu finden, eine kurze Beschreibung enthält Anhang C. Es wurde eine Reihe solcher Rechenversuche durchgeführt: für die "Versuchs"-Stützen wurden wirklichkeitsnahe Eigenschaften gewählt. Materialkennwerte und Einzelheiten der 72 gerechneten Stützen sind in Tabelle 4 und 5 zusammengestellt.

Die aus den Rechenversuchen gewonnenen Ausbiegungen Δc_o und Δc_t wurden genau wie die Laborversuchswerte behandelt, um die in Tabelle 6 angegebenen Werte für α_s zu bekommen. Ergebnisse für

die vier Annahmen (a), (b), (c) und (d) sind in den Bildern 6 bis 9 dargestellt.

Ein Vergleich zwischen Bild 6 und Bild 7 sowie zwischen Bild 8 und Bild 9 zeigt, daß die einfachere Annahme

$$\alpha_k = 0,8 \quad (16)$$

nicht zu wesentlich größeren Streufeldern führt, als die etwas kompliziertere Gl. 15; Gl. 16 ist darum hier vorzuziehen. Auch die Bilder 4 und 5 zeigen ähnliche Ergebnisse und bestätigen die Wahl der einfacheren Gl. 16.

Ein weiterer Vergleich zwischen Bild 6 und Bild 8 zeigt auch, daß die Vereinfachung

$$\alpha_f = 1,0$$

nur mit entsprechend kleineren α_s - Werten verknüpft werden sollte. Ein Vorschlag hierfür wurde in [7] gemacht; für $\alpha_f = 1,0$ wurde

$$\alpha_s = 0,6 + 20 \cdot \mu_{\text{ges}} \quad (17a)$$

gesetzt. Hierbei wurde der Einfluß des Abstandes der beiden Bewehrungslagen voneinander (y/d) nicht berücksichtigt; dieser Ansatz für α_s ist somit nur für normale Werte von y geeignet.

Für die Annahme (c)

$$\alpha_k = 0,8$$

$$\alpha_f = 4/\pi$$

zeigt Bild 10 die errechneten Verhältnisswerte α_s/y für alle 12 Laborversuche sowie für alle 72 Rechenversuche. Der Ansatz

$$\alpha_s = (0,6 + 40 \mu_{\text{ges}}) \cdot y \quad (17b)$$

wurde in Bild 10 eingetragen; er bildet eine untere Grenze des Streufeldes. Nur zwei der Versuchsstützen aus Serie 2 zeigen auf der unsicheren Seite liegende Werte.

In vielen Fällen, besonders dann, wenn μ_{ges} , φ_t und die Exzentrizität c_0 große Werte annehmen, kann Gl. 17 sehr konservativ wirken. Auf der anderen Seite darf nicht übersehen werden, daß Gl. 17 auch zur unsicheren Seite ausschlagen könnte, d.h. zu einer Unterschätzung der Kriechausbiegungen führen könnte, wenn φ_t und μ_{ges} gleichzeitig kleine Werte annehmen. Die Kriechausbiegung verliert jedoch an Bedeutung, wenn φ_t klein ist.

Es darf auch nicht vergessen werden, daß geringfügige Abweichungen der Dauerlast, der Stützengeometrie und der Materialeigenschaften eine ungleich größere Wirkung auf das Verformungsverhalten der Stütze unter Dauerlast ausüben können, als auf die Traglast. Um diese Empfindlichkeit zu veranschaulichen, wurden Rechenversuche mit kleinen Abweichungen in der Dauerlast ($\pm 5\%$), in der Betonfestigkeit (-10%), in der Lage der Stahleinlagen ($\mu = 0,8; 0,69$) und in der Lastexzentrizität ($\Delta c_0 = 0,03 \cdot d$) für eine Stütze durchgeführt. In Bild 11 sind die ermittelten Ausbiegungen in Abhängigkeit von φ_t dargestellt. Schon bei den kleinen Abweichungen der Betonfestigkeit und der Dauerlast werden große Schwankungen der Ausbiegung festgestellt. Diese Ergebnisse sind bemerkenswert, weil solch geringe Abweichungen von den Sollwerten offensichtlich auch im Labor ohne weiteres zu erwarten sind.

Zu den Ergebnissen in Bild 11 ist auch zu bemerken, daß es sich hier um eine Stütze unter Nutzlast handelt. Sogar im Endzustand, $t = \infty$, sind die Betonspannungen relativ niedrig, so daß das Kriechen des Betons im linearen Bereich abläuft. Bei höheren Dauerbelastungen, also bei höheren Betonspannungen, tritt ein beschleunigtes nichtlineares Kriechen ein, wobei die Empfindlichkeit der Stützenverformungen gegenüber den oben erwähnten Abweichungen erheblich zunimmt.

5. Zusammenfassung

Die Neufassung von DIN 1045 verlangt, die durch Kriechen erzeugte bleibende Verkrümmung (Ausbiegung) Δc_t^y einer kriechgefährdeten Stütze abzuschätzen und als zusätzliche Ausbiegung bei der Berechnung der zulässigen Last in Ansatz zu bringen.

Der Ansatz

$$\Delta c_t^y = \alpha_f \cdot c_o \cdot \left[e^{\frac{0,8 \cdot \varphi_t}{\mu - 1}} - 1 \right] \quad (18)$$

gibt einen auf der sicheren Seite liegenden Näherungswert; in Gl. (18) bedeuten

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\pi^2 \alpha_s \cdot (E \cdot I)}{L^2 \cdot N_y} \\ \alpha_s &= [0,60 + 40 \mu_{\text{rel}}] \cdot \gamma \\ \alpha_f &= 4/\pi ; \quad L = \text{Knicklänge} \end{aligned}$$

Als Lastausmitte c_o ist die Summe aus der planmäßigen Ausmitte c und der ungewollten Ausmitte e_u in die Berechnung einzuführen.

Obgleich Gl. 18 in Zusammenhang mit den obigen Beiwerten manchmal zu sehr auf der sicheren Seite liegenden Ergebnissen führen wird, ist zu betonen, daß das Kriechverhalten einer unter Dauerbelastung beanspruchten Stütze nur mit einer komplexen Computer-Analyse wirklichkeitsnahe rechnerisch zu erfassen ist. Dabei darf nicht vergessen werden, daß das Verformungsverhalten gegenüber kleinen Abweichungen in der Stützengeometrie und den Materialeigenschaften sehr empfindlich ist. Eine eher konservative Abschätzung der zusätzlichen bleibenden Ausbiegung Δc_t^y ist darum ratsam.

Auch eine Schlußbemerkung über die Sicherheit gegen Kriechversagen ist hier notwendig: Die Einführung der zusätzlichen bleibenden Ausbiegung (Ausmitte) Δc_t^y in die Bemessung erfaßt zwar die Auswirkung des Betonkriechens auf die Tragfähigkeit der Stütze unter Gebrauchslast und gibt solcherart hinreichende Sicherheit gegenüber

einer plötzlich eintretenden Überlastung; sie liefert aber nicht ohne weiteres auch eine hinreichende Sicherheit gegenüber einem allmählich eintretenden Kriechversagen unter konstanter Dauerbelastung. Es besteht darum die Notwendigkeit, zusätzlich eine "ungewollte Ausmitte" in die Stützenbemessung einzuführen.

Ableitung der Gleichung 13

Wir betrachten den Stützenquerschnitt des Bildes 2, der sich unter der konstanten Druckkraft N_ψ und dem konstanten Moment M im Zustand I befindet. Es gilt

$$\begin{aligned} M &= N_\psi \cdot c \\ N_\psi &= 0 \\ M &= 0 \end{aligned}$$

Das Gesamtmoment M wird in zwei Anteile aufgeteilt, die dem Beton, M_b , und den Stahleinlagen, M_s , zugeordnet werden:

$$M = M_b + M_s \quad (a)$$

Für den in Druckgliedern üblichen Fall der symmetrischen Bewehrung

$$\mu = \mu' = \frac{1}{2} \mu_{\text{ges}}$$

sind zum Zeitpunkt t unter der Voraussetzung linear-elastischen Verhaltens

$$M_b = (\sigma_3 - \sigma_2) \cdot \frac{b \cdot d^2}{12} \cdot \frac{1}{\rho} \quad (b)$$

$$\begin{aligned} M_s &= (\sigma'_3 - \sigma'_2) \cdot \frac{b \cdot d^2}{4} \cdot \rho \cdot \mu_{\text{ges}} \\ &= (\varepsilon_3 - \varepsilon_2) \cdot \frac{b \cdot d^2}{4} \cdot E_s \cdot \rho \cdot \mu_{\text{ges}} \end{aligned} \quad (c)$$

so daß sich (a) wie folgt umschreiben läßt

$$M = \frac{b \cdot d^2}{12} \left[(\sigma_3 - \sigma_2) \cdot \frac{1}{\rho} + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2) \cdot 3 \cdot E_s \cdot \rho \cdot \mu_{\text{ges}} \right] \quad (d)$$

Die Krümmung zum Zeitpunkt t ist

$$K_t = (\varepsilon_3 - \varepsilon_2) \cdot \frac{1}{\rho \cdot d} \quad (e)$$

Aus (d) und (e) erhalten wir

$$M = I \cdot \left[(\sigma_3 - \sigma_2) \cdot \frac{1}{\rho \cdot d} + K_t \cdot 3 \cdot E_s \cdot \rho^2 \cdot \mu_{\text{ges}} \right] \quad (f)$$

Zum Zeitpunkt t gilt auch

$$\dot{K}_t = (\dot{\varepsilon}_3 - \dot{\varepsilon}_2) \cdot \frac{1}{\rho \cdot d} \quad (g)$$

und bei Einführung des Disinger- Kriechgesetzes für die Fasern 3 und 2

- 2 -

$$\dot{\epsilon}_3 = \frac{\dot{\sigma}_3}{E} + \dot{\varphi}_t \left[\frac{\sigma_3}{E} + \frac{\epsilon_{s\infty}}{\varphi_\infty} \right]$$

$$\dot{\epsilon}_2 = \frac{\dot{\sigma}_2}{E} + \dot{\varphi}_t \left[\frac{\sigma_2}{E} + \frac{\epsilon_{s\infty}}{\varphi_\infty} \right]$$

womit aus (g)

$$y \cdot d \cdot E \cdot \dot{K}_t = (\dot{\sigma}_3 - \dot{\sigma}_2) + \dot{\varphi}_t (\sigma_3 - \sigma_2) \quad (h)$$

gewonnen wird.

Weil der Schwindvorgang hier gleichmäßig den Querschnitt erfaßt, entfällt das Schwindmaß $\epsilon_{s\infty}$ in Gl. (h).

Es folgt aus (f)

$$\sigma_3 - \sigma_2 = \frac{M}{I} \cdot y \cdot d - K_t \cdot 3 \cdot E_s \cdot y^3 \cdot d \cdot \mu_{ges} \quad (i)$$

$$\dot{\sigma}_3 - \dot{\sigma}_2 = -\dot{K}_t \cdot 3 \cdot E_s \cdot y^3 \cdot d \cdot \mu_{ges} \quad (j)$$

Einsetzen von (i) und (j) in (h) ergibt die Differentialgleichung

$$\dot{K}_t \cdot [1 + 3 \cdot n \cdot y^2 \cdot \mu_{ges}] = \dot{\varphi}_t \left[\frac{M}{E \cdot I} - K_t \cdot 3 \cdot n \cdot y^2 \cdot \mu_{ges} \right] \quad (k)$$

worin

$$n = \frac{E_s}{E}$$

bedeutet.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ gilt die Anfangsbedingung

$$\varphi_0 = 0; \quad K_0 = \frac{M}{EI} \cdot \frac{1}{1 + 3 \cdot n \cdot y^2 \cdot \mu_{ges}} \quad (l)$$

die Integration von (k) ergibt unter Berücksichtigung von (l)

$$K_t = K_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{\beta} \left(1 - e^{-\frac{\beta}{1+p} \cdot \varphi_t} \right) \right] \quad (m)$$

- 3 -

worin

$$\beta = 3 \cdot n \cdot \sigma^2 \cdot \mu_{ges} > 0 \quad (n)$$

gesetzt wurde. Gleichung (m) lässt sich umschreiben:

$$K_t = K_o \cdot [1 + \varphi'_t] \quad (12)$$

$$\varphi'_t = \frac{1}{\beta} \cdot [1 - e^{-\frac{\beta}{1+\beta} \varphi_t}] \quad (13)$$

Für den Fall $\beta = 0$ (unbewehrter Beton, $\mu = \mu' = \mu_{ges} = 0$) ergibt sich aus (k) und (l)

$$\dot{K}_t = \dot{\varphi}_t \cdot \frac{M}{E \cdot I}$$

$$K_o = \frac{M}{EI}$$

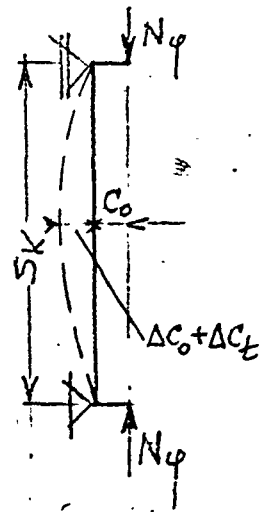
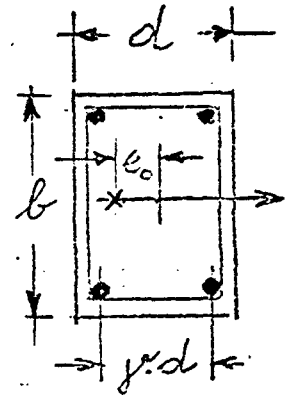
und daraus

$$K_t = K_o \cdot [1 + \varphi_t] \quad (6)$$

Versuche an Stahlbetonstützen unter Dauerlast

Anhang B
- 1 -

Vers. Nr.	Querschnitt b/d	Schlank- heit L/d	Last- ausmitte e _o	e _o /d	Längsbewehrung				Belastungsalter t _o			Belastungs- dauer t _y
					∅	μ = μ'	μ	β _s	t _o	β _w	E	
-	cm	-	cm	-	mm	%	-	kp/cm ²	Tage	kp/cm ²	kp/cm ²	Tage
I	26,5/17,2	29,9	8,55	0,497	12	0,510	0,75	2665	338	334	300·10 ³	418
II	26,6/17,2	29,9	8,55	0,497	12	0,507	0,75	2665	200	337	260·10 ³	418
III	26,5/17,3	29,7	3,42	0,198	12	0,506	0,75	2665	280	362	280·10 ³	598
IV	26,4/17,1	30,0	3,42	0,200	12	0,515	0,75	2665	222	296	230·10 ³	594
V	26,9/17,2	29,8	2,49	0,145	12	0,496	0,75	4581	96	530	360·10 ³	540
VI	26,9/17,4	29,5	3,44	0,198	18	1,085	0,65	4621	77	390	325·10 ³	588
VII	27,2/17,4	29,5	3,50	0,201	12	0,493	0,70	2668	70	361	320·10 ³	492
VIII	26,9/17,3	29,7	3,44	0,199	22	1,58	0,63	4225	63	370	320·10 ³	492
IX	26,5/17,2	29,8	2,49	0,145	12	0,503	0,71	4600	28	434	350·10 ³	480
X	26,5/17,5	29,7	3,45	0,200	18	1,11	0,66	4620	28	328	319·10 ³	448
XI	26,4/17,5	29,3	3,50	0,200	12	0,505	0,73	2670	30	322	305·10 ³	599
XII	26,5/17,4	29,5	3,44	0,198	22	1,59	0,63	4230	29	327	307·10 ³	565



Dauerlasten				Ausmitten und Ausbiegungen (Meßwerte)							Nebenversuche			
Vers. Nr.	Dauer- last N_{φ}	theor. Kurzzeit Bruchlast $N_{U,0}$	$\frac{N_{\varphi}}{N_{U,0}}$	Bela- stungs- dauer t_{φ}	infolge N_{φ}					Rück- federg. $\Delta c'_0$	nach ++) Entla- stung $c_0 + \Delta c_t^{\varphi}$ $N = 0$	Kriech- zahl +) φ_{∞}	Betongüte B_w $t=t_0+t_{\varphi}$	E-Modul E $t=t_0+t_{\varphi}$
					c_0	Δc_0	Δc_t $t=t_{\varphi}$	$\Delta c_t^{*)}$ $t=\infty$	$c_t^{*)}$ $t=\infty$					
-	Mp	Mp	-	Tage	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	-	kp/cm ²	kp/cm ²
I	6,30	12,3	0,51	418	8,55	1,06	1,14	1,28	10,89	1,10	9,65	1,8	334	$300 \cdot 10^3$
II	4,75	12,3	0,39	418	8,55	1,04	1,17	1,38	10,97	1,37	9,39	2,3	337	$300 \cdot 10^3$
III	14,0	34,1	0,41	598	3,42	0,80	1,47	1,56	5,78	1,23	4,46	1,9	365	$300 \cdot 10^3$
IV	15,6	28,9	0,54	594	3,42	1,37	2,42	3,01	7,80	2,15	5,06	1,9	300	$280 \cdot 10^3$
V	14,0	56,0	0,25	540	2,49	0,26	0,63	0,84	3,59	0,26	3,12	2,1	580	$480 \cdot 10^3$
VI	24,8	45,0	0,55	588	3,44	1,25	3,60	4,00	8,69	3,50	4,79	2,4	450	$350 \cdot 10^3$
VII	19,3	33,9	0,57	492	3,50	1,02	3,59	4,10	8,62	2,41	5,70	2,7	440	$345 \cdot 10^3$
VIII	30,7	53,2	0,58	492	3,44	1,83	4,32	4,78	10,05	5,10	4,49	2,2	430	$335 \cdot 10^3$
IX	14,6	51,3	0,29	480	2,49	0,23	0,75	0,82	3,54	0,28	3,19	2,4	460	$400 \cdot 10^3$
X	23,9	42,6	0,56	448	3,45	0,73	1,94	2,23	6,41	2,16	3,96	3,1	380	$330 \cdot 10^3$
XI	19,3	33,1	0,58	599	3,50	0,91	2,63	2,86	7,27	1,74	5,30	3,8	400	$330 \cdot 10^3$
XII	30,7	49,5	0,62	565	3,44	1,46	4,39	4,66	9,56	4,86	4,43	3,7	400	$320 \cdot 10^3$

+) Extrapolation nach Ross

$$++) = c_0 + \Delta c_0 + \Delta c_t - \Delta c'_0$$

$$t = t_{\varphi}$$

Abschließender Bruchversuch							Vergleichsrechnungen nach Gl. 18								
Vers. Nr.	Lastausmitte in L/2 $C_0 + \Delta C_t^y$ N = 0	Beton- güte B_w $t_0 + t_y$	Bruch- last im Ver- such N_U	theor. Bruch- last $N_{U,y}$	$\frac{N_{U,y}}{N_U}$				theor.	theor.		theor. Bruch- last $N_{U,R}$ $t = t_y$	$\frac{N_{U,R}}{N_U}$	theor. $(c_t)_R$ $t = \infty$	$\frac{(c_t)_R}{c_t}$ $t = \infty$
-	cm	-	kp/cm ²	Mp	Mp	-	-	-	cm	cm	-	Mp	-	cm	-
I	9,65	0,56	334	10,5	10,7	1,02	15,2	1,44	0,93	9,48	0,98	10,9	1,04	12,8	1,17
II	9,39	0,55	337	9,8	11,0	1,12	17,5	1,84	1,03	9,58	1,02	10,7	1,09	12,9	1,18
III	4,46	0,26	365	26,0	27,3	1,05	6,4	1,52	1,09	4,51	1,01	27,0	1,03	6,8	1,17
IV	5,06	0,30	300	20,5	20,5	1,00	4,6	1,52	1,75	5,17	1,02	20,0	0,98	8,5	1,09
V	3,12	0,18	580	53,0	53,0	1,00	8,2	1,68	0,67	3,16	1,01	52,6	0,99	4,52	1,25
VI	4,79	0,28	450	35,0	39,4	1,12	5,6	1,92	1,75	5,19	1,08	37,5	1,07	8,20	0,94
VII	5,70	0,33	440	23,2	22,4	0,97	5,2	2,16	2,28	5,78	1,01	22,0	0,95	9,22	1,07
VIII	4,49	0,26	430	43,0	46,2	1,07	5,3	1,75	1,70	5,14	1,14	43,0	1,00	8,15	0,81
IX	3,19	0,19	460	53,5	43,0	0,80	7,3	1,92	0,89	3,38	1,06	39,0	0,73	4,95	1,40
X	3,96	0,23	380	40,5	42,5	1,05	5,7	2,48	2,33	5,78	1,46	34,5	0,85	9,00	1,40
XI	5,30	0,31	400	25,8	25,0	0,97	5,1	3,05	3,67	7,17	1,35	17,5	0,68	11,60	1,59
XII	4,43	0,25	400	37,6	46,0	1,26	5,1	2,96	3,43	6,87	1,55	37,6	1,00	11,10	1,15
						1,04					1,14		0,95		1,18
						1.M.					1.M.		1.M.		1.M.

+) ohne Rückkriechen

Rechenprogramm

Das Verfahren für die Simulierung des zeitlichen Verhaltens der Stütze beruht auf einer schrittweisen Rechenmethode, wobei der Zustand der Stütze zu bestimmten Zeitpunkten $0, t_1, t_2, \dots, t_n, \dots, \infty$ ausgerechnet wird.

Der Querschnitt der Stütze wird durch eine endliche Zahl von Stahl- und Betonfasern von endlicher Flächengröße ersetzt.

Beim n-ten Schritt des Verfahrens wird der Zuwachs während des Zeitintervalls

$$\Delta t_n = t_n - t_{n-1}$$

für alle Betonfasern ausgerechnet. Hierbei wird angenommen, daß die Spannungen konstant innerhalb des Zeitintervalles bleiben, und daß sich die Fasern ungehindert verformen können. Um den n-ten Rechenschritt abzuschließen, werden zusätzliche Kurzzeit-Dehnungen und -Spannungen bestimmt, die zum Zeitpunkt t sämtliche Bedingungen der Verträglichkeit und des Gleichgewichts erfüllen.

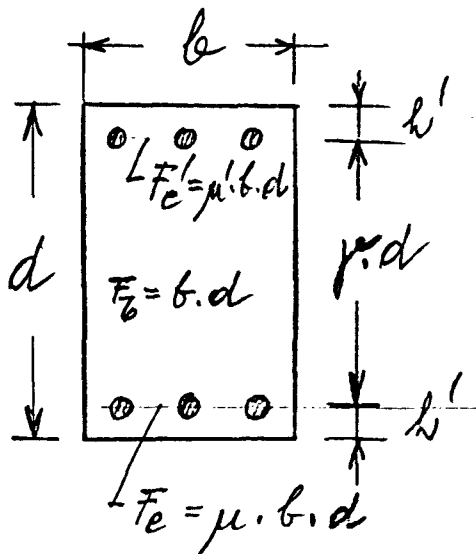
Obgleich ein nichtlineares Kriechgesetz für die Untersuchung des Kriechversagens erforderlich ist [3], wurde hier für die Berechnung des Stützenverhaltens unter Nutzlast eine Differenzformulierung des Discher-Kriechgesetzes angewendet.

In den Rechenversuchen wurden folgende Materialeigenschaften zugrundegelegt:

β_s	=	4500	kp/cm ²	Stahlfließgrenze
β_w	=	400	kp/cm ²	Würfelfestigkeit
σ_u	=	300	kp/cm ²	Rechenfestigkeit des Betons der Stütze
ϵ_s	=	ϵ_u	=	0,0022

TABELLE 1

Parameter	benutzte Werte
$n = E_s/E_b$	6; 8; 10
γ	0,7; 0,8; 0,9
μ_{ges}	0,01; 0,02; 0,03; 0,04
φ_t	2,0; 4,0



$$F_e = F_e'; \quad \mu = F_e/F_b$$

$$\mu = \mu'; \quad \mu + \mu' = \mu_{ges}$$

Berechnung von α_k ; Variation der Parameter

T A B E L L E 2 : Versuchsergebnisse, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Braunschweig

Test Nr.	b cm	d cm	μ_{ges}	E kp/cm ²	μ	ψ_{∞}	$t_{\psi}^{+)$ Tage	Δc_o cm	$\Delta c_t^{++)$ cm	c_o cm	L cm	N_{ψ} M_p
I	26,5	17,2	0,0102	300	0,75	1,8	418	1,06	1,28	8,55	514,0	6,30
II	26,6	17,2	0,0101	260	0,75	2,3	418	1,04	1,38	8,55	514,5	4,75
III	26,5	17,3	0,0101	280	0,75	1,9	598	0,80	1,56	3,42	514,5	14,0
IV	26,4	17,1	0,0103	230	0,75	1,9	598	1,37	3,01	3,42	513,5	15,6
V	26,9	17,2	0,0099	360	0,75	2,1	540	0,26	0,84	2,49	513,3	14,0
VI	26,9	17,4	0,0217	325	0,65	2,4	588	1,25	4,00	3,44	512,5	24,8
VII	27,2	17,4	0,0099	320	0,70	2,7	488	1,02	4,10	3,50	513,0	19,25
VIII	26,9	17,3	0,0316	320	0,63	2,2	491	1,83	4,78	3,44	513,0	30,7
IX	26,5	17,2	0,0101	350	0,71	2,4	484	0,23	0,82	2,49	513,5	14,6
X	26,5	17,5	0,0222	319	0,66	3,1	448	0,73	2,23	3,45	513,5	23,9
XI	26,4	17,5	0,0101	305	0,73	3,8	599	0,91	2,86	3,50	513,0	19,25
XII	26,5	17,4	0,0318	307	0,63	3,7	565	1,46	4,66	3,44	513,0	30,70

^{+) t_ψ = Belastungsdauer}

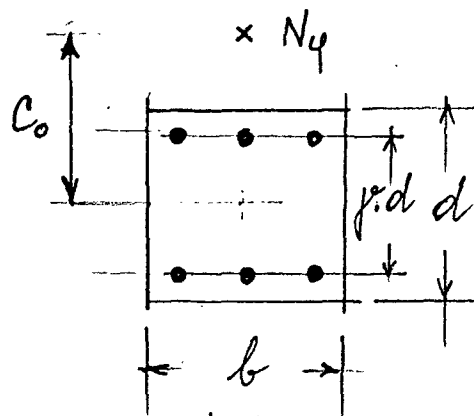
^{++) für t = ∞}

T A B E L L E 3: Zusammenstellung der aus den Langzeitversuchen ermittelten Werte α_s

Test Nr.	ν	φ_0	(a)		(b)		(c)		(d)		μ_{ges}	γ
			ν'	α_s	ν'	α_s	ν'	α_s	ν'	α_s		
I	20,2	1,8	12,8	0,63	14,3	0,71	14,8	0,73	16,4	0,81	0,0102	0,75
II	23,2	2,3	15,05	0,65	16,8	0,72	17,3	0,75	19,3	0,83	0,0101	0,75
III	8,6	1,9	5,83	0,68	6,43	0,75	6,80	0,79	7,53	0,88	0,0101	0,75
IV	6,1	1,9	4,11	0,67	4,50	0,74	4,58	0,75	5,02	0,82	0,0103	0,75
V	11,0	2,1	7,22	0,66	8,00	0,73	8,53	0,78	9,48	0,86	0,0100	0,75
VI	5,8	2,4	4,12	0,71	4,04	0,70	4,58	0,79	4,49	0,77	0,0217	0,65
VII	7,4	2,7	4,34	0,59	4,76	0,64	4,86	0,66	5,44	0,74	0,0099	0,70
VIII	4,5	2,2	3,72	0,83	3,32	0,74	4,08	0,91	3,63	0,81	0,0316	0,63
IX	10,4	2,4	8,33	0,80	9,24	0,89	9,93	0,95	11,05	1,06	0,0101	0,71
X	5,8	3,1	6,84	1,19	6,69	1,16	7,79	1,35	7,63	1,33	0,0222	0,66
XI	7,0	3,8	7,08	1,01	7,84	1,12	8,15	1,16	9,05	1,29	0,0101	0,73
XII	4,4	3,7	5,43	1,25	4,19	0,96	6,03	1,39	5,29	1,22	0,0318	0,63

- Annahmen:
- (a) $\alpha_k = 0,8$; $\alpha_f = 1,0$
 - (b) $\alpha_k = 1 - 10 \mu_{ges}$; $\alpha_f = 1,0$
 - (c) $\alpha_k = 0,8$; $\alpha_f = 4/31$
 - (d) $\alpha_k = 1 - 10 \mu_{ges}$; $\alpha_f = 4/31$

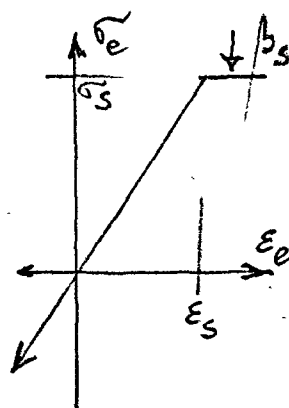
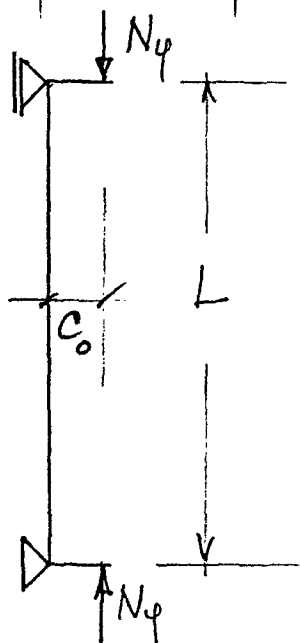
TABELLE 4: Rechenversuche



$$\Sigma F_e + F_e' = A_s$$

$$F_b = b \cdot d = A_c$$

$$\mu_{ges} = \Sigma (F_e + F_e') / F_b = A_s / A_c$$



Feste Werte:

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_u} = 15 \approx \sqrt{\frac{\beta_s}{\beta_R}}$$

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_u} = 1,0$$

$$\epsilon_u = 0,0022$$

Kriechgesetz: Dischinger
(linear)

Veränderliche Werte:

$$c_o/d = 0,15; 0,40; 2,00$$

$$L/d = 15; 30; 50$$

$$\mu_{ges} = A_s/A_c = 0,01; 0,025; 0,04$$

$$\mu = 0,8; 0,6$$

$$\frac{N_\varphi}{N_{ult}} = 0,5; 0,33$$

$$\varphi_t = 2,0; 4,0$$

Rechenversuche zur Bestimmung von α_s ; Variation der Parameter

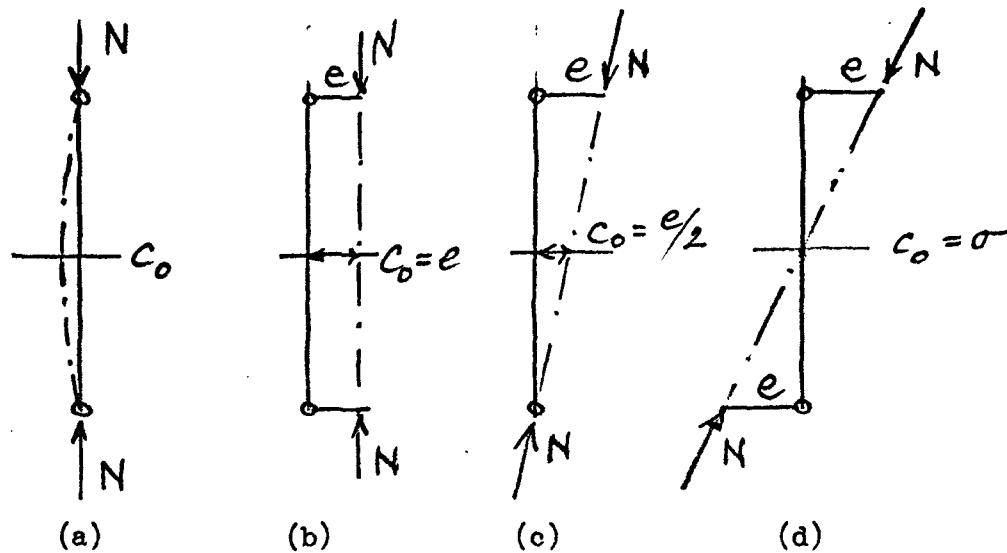
T A B E L L E 5: Rechenversuche - Ausgangswerte

Jede Stütze gerechnet für $\varphi_t = 2$; $\varphi_t = 4$

Test Nr.	μ_{ges}	$\frac{c_o}{d}$	$\frac{L}{d}$	f_c	$\frac{N_{\text{ult}}}{N_y}$	ρ
1	0,01	0,4	15	0,8	2,0	25,5
2	0,04	0,4	15	0,8	2,0	12,7
3	0,01	0,4	30	0,8	2,0	14,1
4	0,04	0,4	30	0,8	2,0	5,5
5	0,01	0,4	50	0,8	2,0	11,8
6	0,04	0,4	50	0,8	2,0	4,2
7	0,01	0,15	15	0,8	2,0	12,2
8	0,04	0,15	15	0,8	2,0	7,8
9	0,01	0,15	30	0,8	2,0	6,2
10	0,04	0,15	30	0,8	2,0	3,8
11	0,01	0,15	50	0,8	2,0	6,1
12	0,04	0,15	50	0,8	2,0	3,3
13	0,01	2,00	15	0,8	2,0	203,0
14	0,04	2,00	15	0,8	2,0	55,0
15	0,01	2,00	30	0,8	2,0	57,0
16	0,04	2,00	30	0,8	2,0	16,0
17	0,01	2,00	50	0,8	2,0	27,4
18	0,04	2,00	50	0,8	2,0	8,4
19	0,025	0,15	15	0,8	2,0	9,5
20	0,025	0,15	30	0,8	2,0	5,1
21	0,025	0,15	50	0,8	2,0	4,6
22	0,025	0,40	15	0,8	2,0	16,2
23	0,025	0,40	30	0,8	2,0	7,9
24	0,025	0,40	50	0,8	2,0	6,1
7a	0,01	0,15	15	0,8	3,0	18,4
8a	0,04	0,15	15	0,8	3,0	11,7
9a	0,01	0,15	30	0,8	3,0	10,6
10a	0,04	0,15	30	0,8	3,0	5,7
11a	0,01	0,15	50	0,8	3,0	9,7
12a	0,04	0,15	50	0,8	3,0	5,0
7b	0,01	0,15	15	0,6	2,0	12,2
8b	0,04	0,15	15	0,6	2,0	7,8
9b	0,01	0,15	30	0,6	2,0	6,2
10b	0,04	0,15	30	0,6	2,0	3,8
11b	0,01	0,15	50	0,6	2,0	6,1
12b	0,04	0,15	50	0,6	2,0	3,3

TABELLE 6: α_s - Werte aus Rechenversuchen ermittelt

Test Nr.	$\varphi_t = 2,0$				$\varphi_t = 4$			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
1	0,74	0,82	0,82	0,92	0,87	1,02	1,07	1,19
2	2,60	1,97	2,60	1,97	3,23	2,44	4,30	3,23
3	0,67	0,75	0,83	0,92	0,82	0,92	0,96	1,07
4	2,13	1,64	2,51	2,11	3,09	2,36	3,71	2,82
5	0,73	0,81	0,88	0,98	0,76	0,85	0,87	0,97
6	2,00	1,57	2,24	1,74	2,38	2,10	3,14	2,40
7	0,77	0,86	0,90	1,00	0,81	0,90	0,96	1,06
8	1,91	1,46	2,18	1,67	2,61	1,99	3,26	2,48
9	0,89	0,98	1,02	1,13	0,87	0,95	0,97	1,06
10	1,87	1,47	2,18	1,71	2,37	1,84	2,71	2,10
11	0,84	0,92	0,98	1,07	0,75	0,82	0,83	0,92
12	1,76	1,39	1,97	1,55	2,06	1,64	2,33	1,82
13	0,79	0,89	0,79	0,89	1,58	1,78	1,58	1,78
14	2,93	2,20	2,93	2,20	5,80	4,38	5,80	4,38
15	1,42	1,60	1,42	1,60	1,40	1,59	1,90	2,12
16	3,37	2,56	5,06	3,81	5,00	3,80	6,70	5,06
17	1,20	1,35	1,20	1,35	1,20	1,35	1,49	1,68
18	3,29	2,50	3,93	2,98	4,38	3,18	5,50	4,21
19	1,23	1,16	1,50	1,42	1,57	1,47	1,86	1,75
20	1,22	1,14	1,45	1,37	1,43	1,35	1,67	1,57
21	1,24	1,17	1,43	1,37	1,47	1,31	1,56	1,48
22	1,47	1,38	1,71	1,60	1,94	1,83	2,26	2,11
23	1,32	1,24	1,48	1,39	1,68	1,58	1,96	1,85
24	1,23	1,16	1,44	1,36	1,54	1,46	1,79	1,69
7a	0,84	0,94	0,92	1,03	0,92	1,03	1,11	1,24
8a	2,03	1,55	2,37	1,79	2,68	2,04	3,07	2,37
9a	0,81	0,91	1,01	1,12	0,89	0,99	1,05	1,17
10a	1,88	1,46	2,33	1,79	2,44	1,88	2,90	2,21
11a	0,82	0,91	0,97	1,08	0,89	0,98	1,70	1,15
12a	1,76	1,38	2,02	1,56	2,40	1,86	2,80	2,16
7b	0,74	0,82	0,88	0,98	0,79	0,88	0,93	1,04
8b	1,37	1,06	1,69	1,31	1,78	1,37	2,19	1,68
9b	0,84	0,92	0,95	1,06	0,69	0,77	0,61	0,86
10b	1,50	1,21	1,74	1,37	1,82	1,42	2,21	1,63
11b	0,75	0,82	0,85	0,95	0,52	0,57	0,61	0,62
12b	1,48	1,21	1,67	1,36	1,76	1,39	2,12	1,58



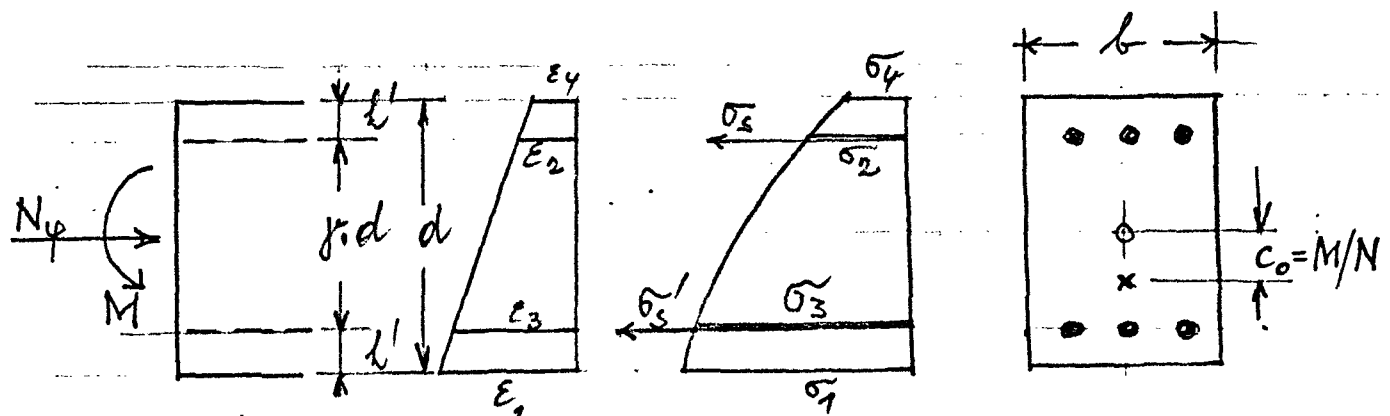
Für den Mittelquerschnitt:

$$c'_0 = \alpha_f \cdot c_0$$

Fall	a	b	c	d
α_f	1,0	$4/\pi$	$4/\pi$	+))

+) Um die Kriechausbiegung für diese Momentenverteilung zu erfassen, müßte eine Knickbiegeline höherer Ordnung gewählt und die Ausbiegung für einen besser geeigneten Querschnitt ermittelt werden.

B i l d 1 : Zusammenhang zwischen Momentenverteilung und α_f



B i l d 2 : Verformungen und Spannungen im Querschnitt - Zustand I

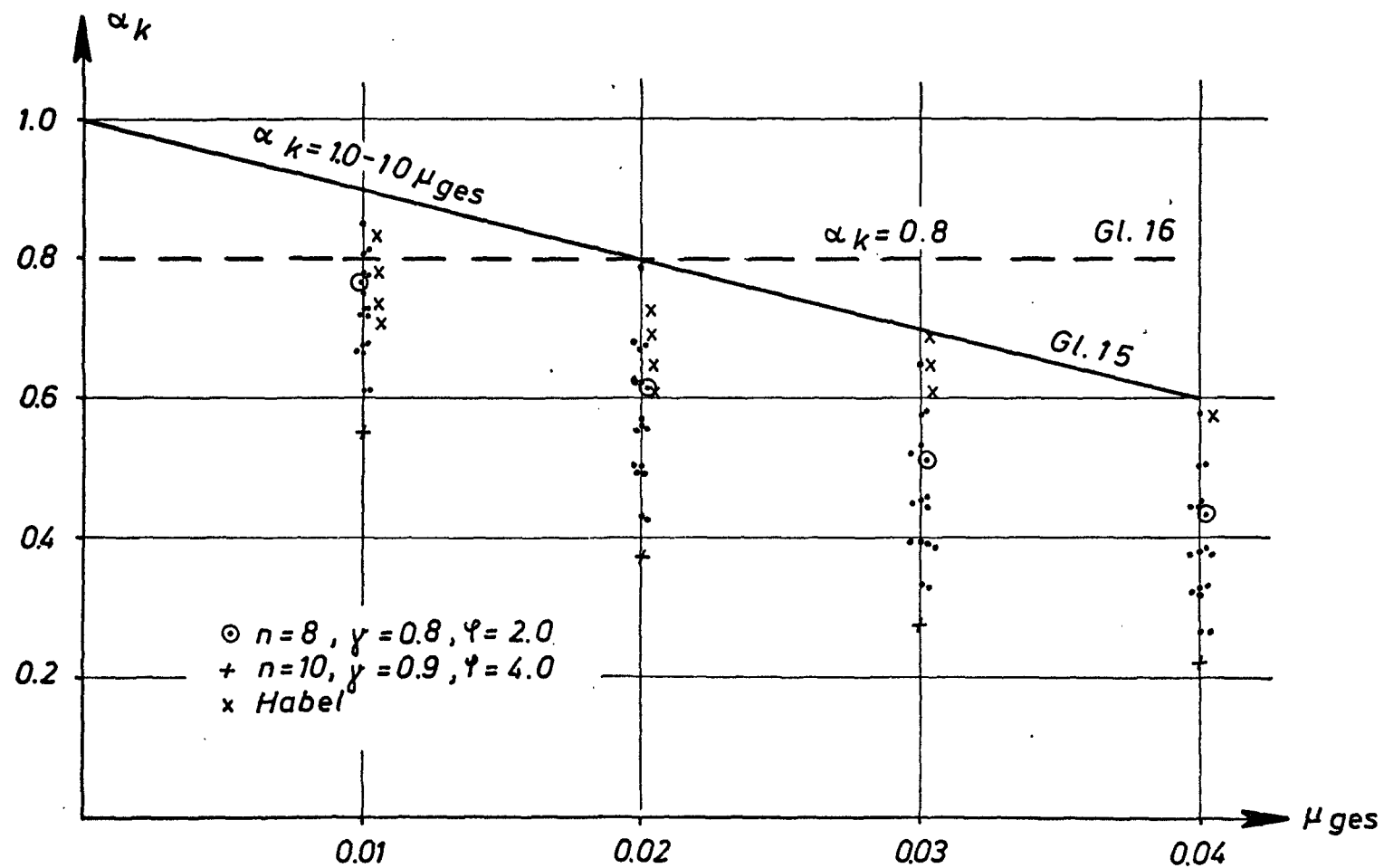
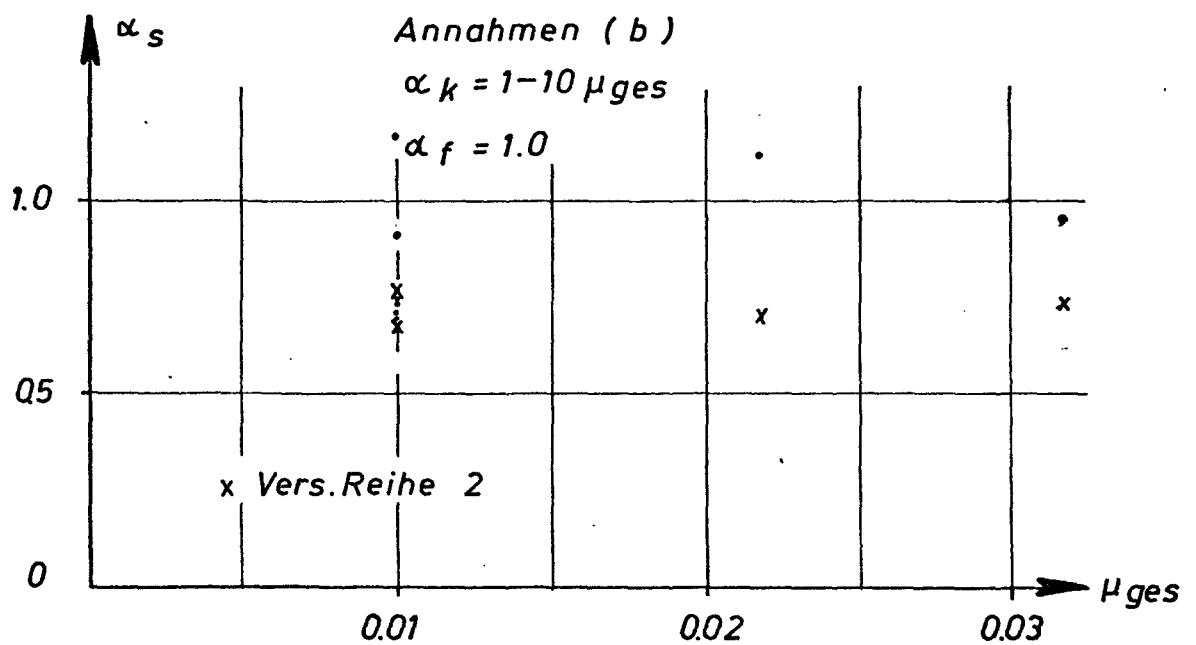
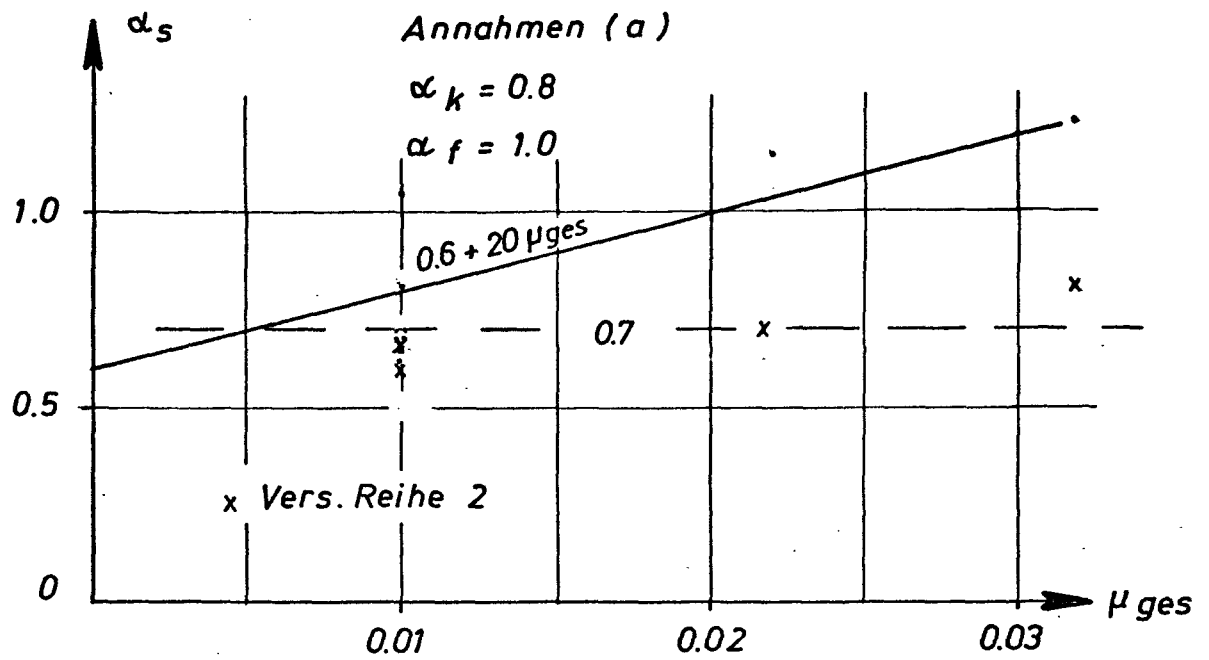


BILD 3 : AUSWERTUNG DES FAKTORS α_k



**BILD 4 : VERSUCHSERGEBNISSE -
 AUSWERTUNG DES FAKTORS α_s**

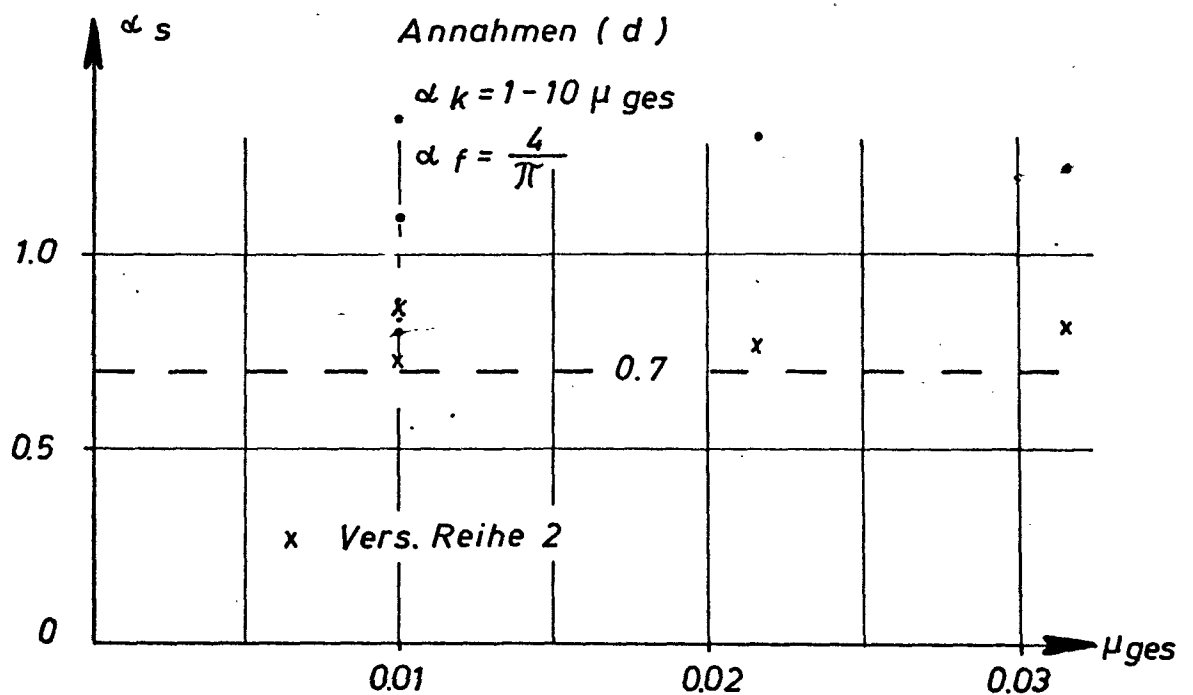
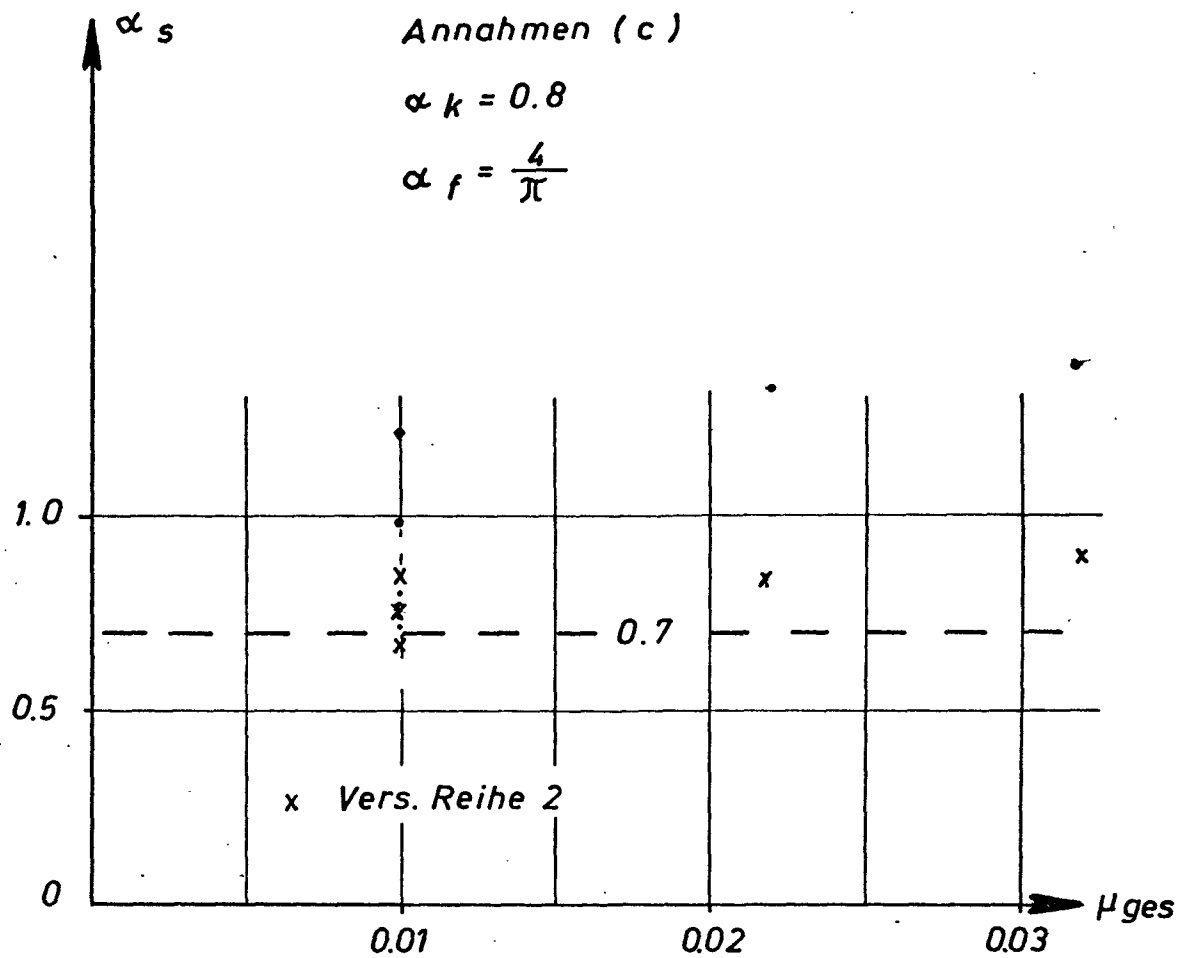


BILD 5 : VERSUCHSERGEBNISSE –
AUSWERTUNG DES FAKTORS α_s

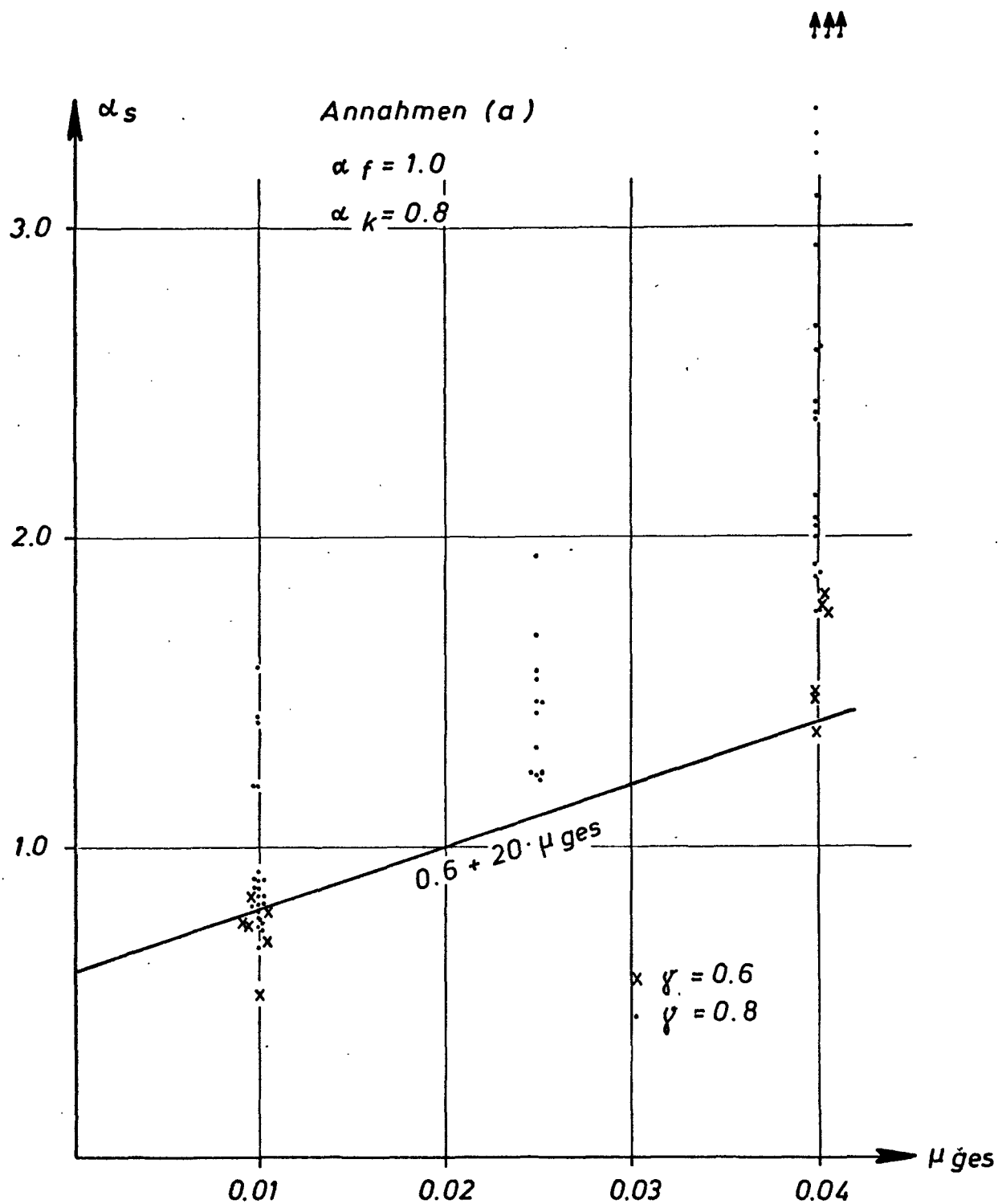


BILD 6 : α_s -WERTE : ANNAHMEN (a)

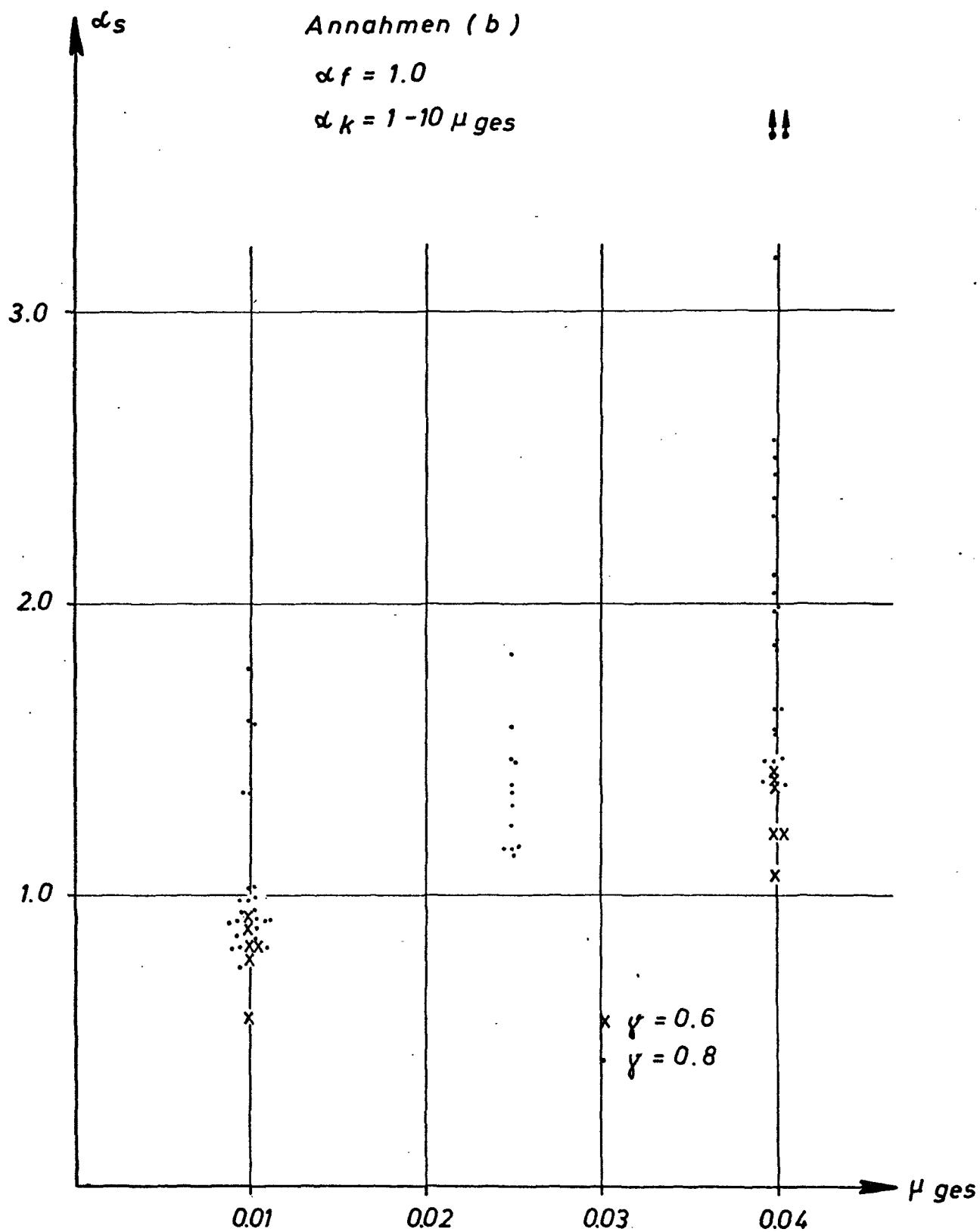


BILD 7 : α_s -WERTE : ANNAHMEN (b)

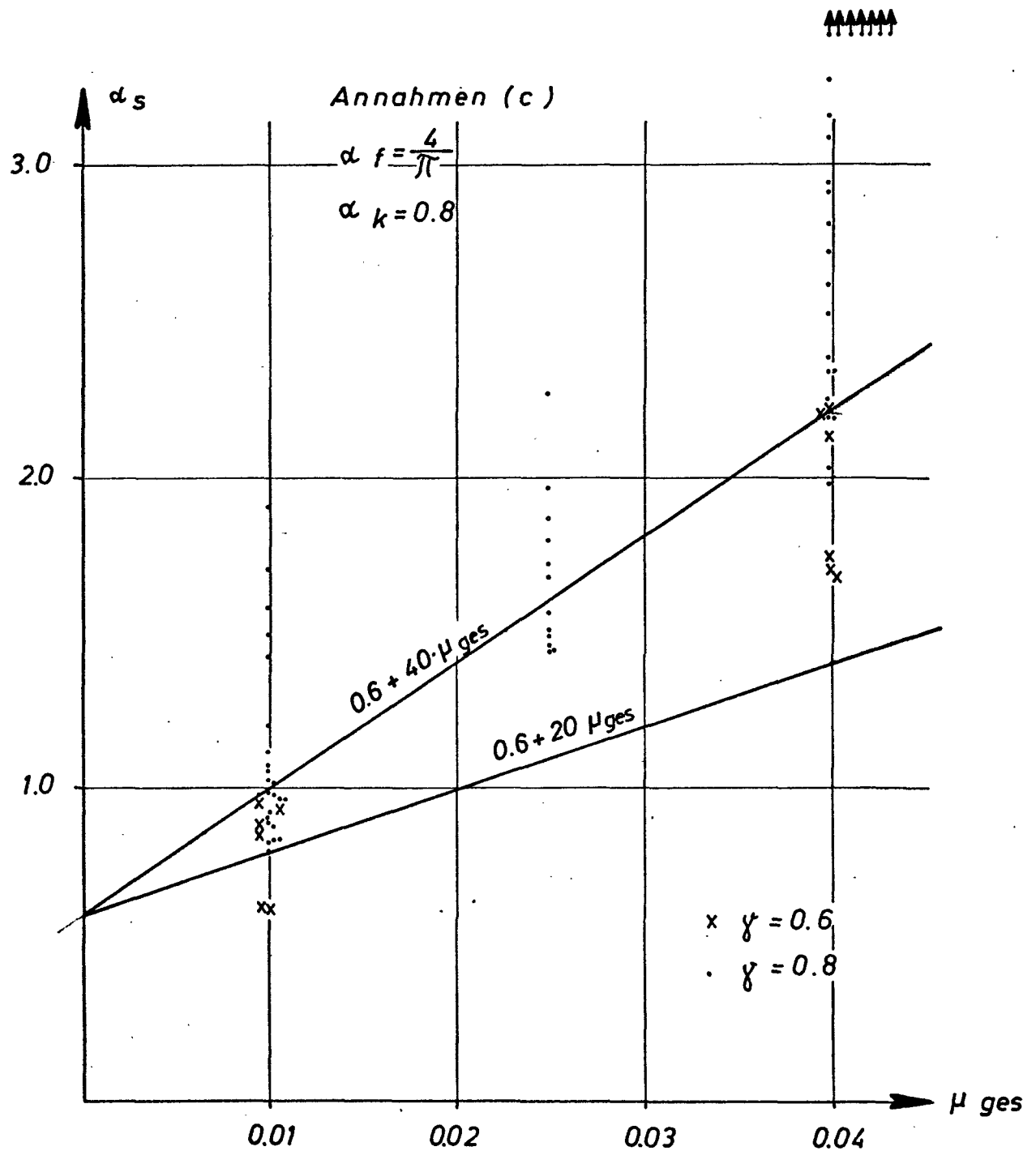


BILD 8 : α_s -WERTE : ANNAHMEN (c)

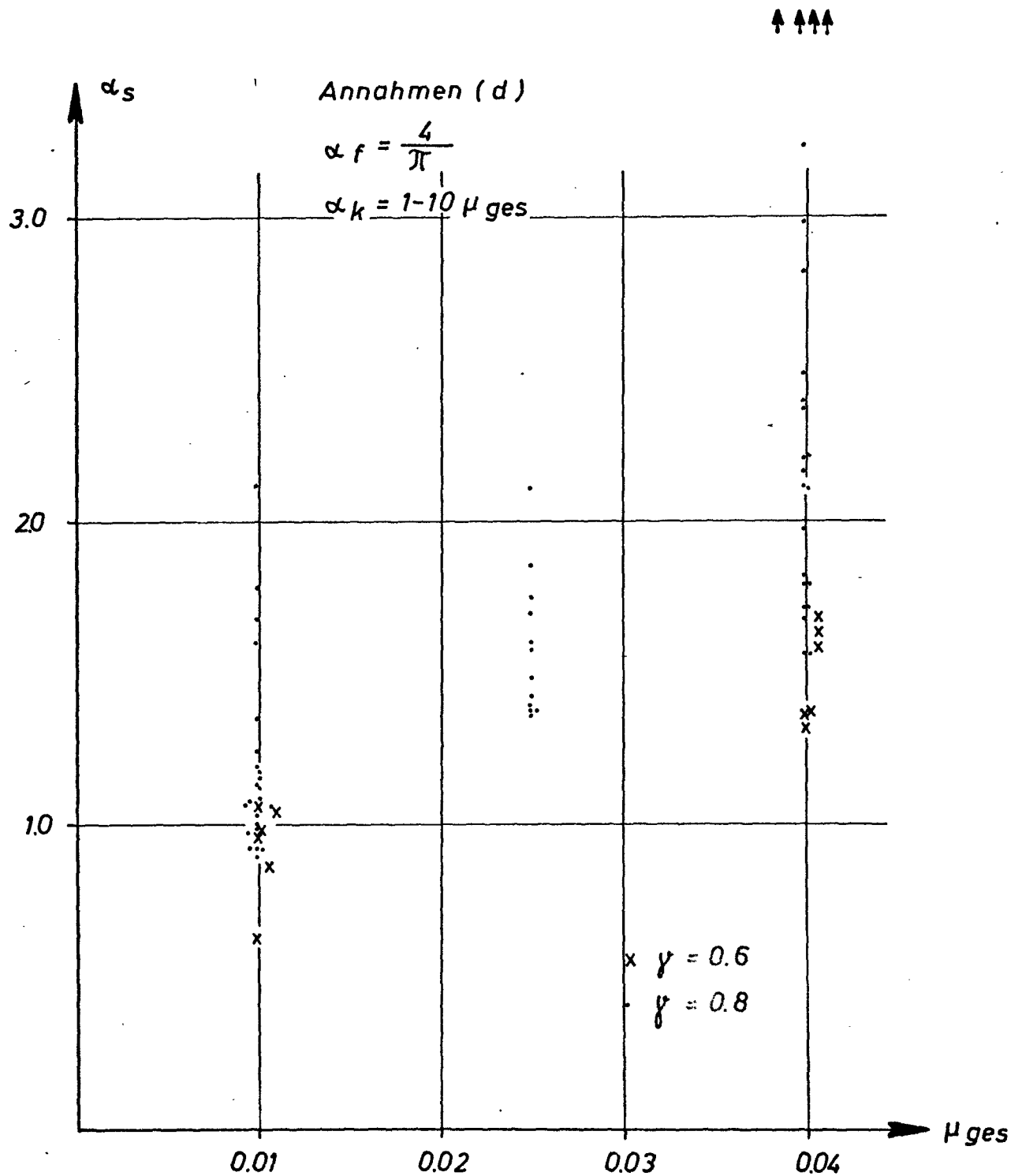


BILD 9 : α_s -WERTE : ANNAHMEN (d)

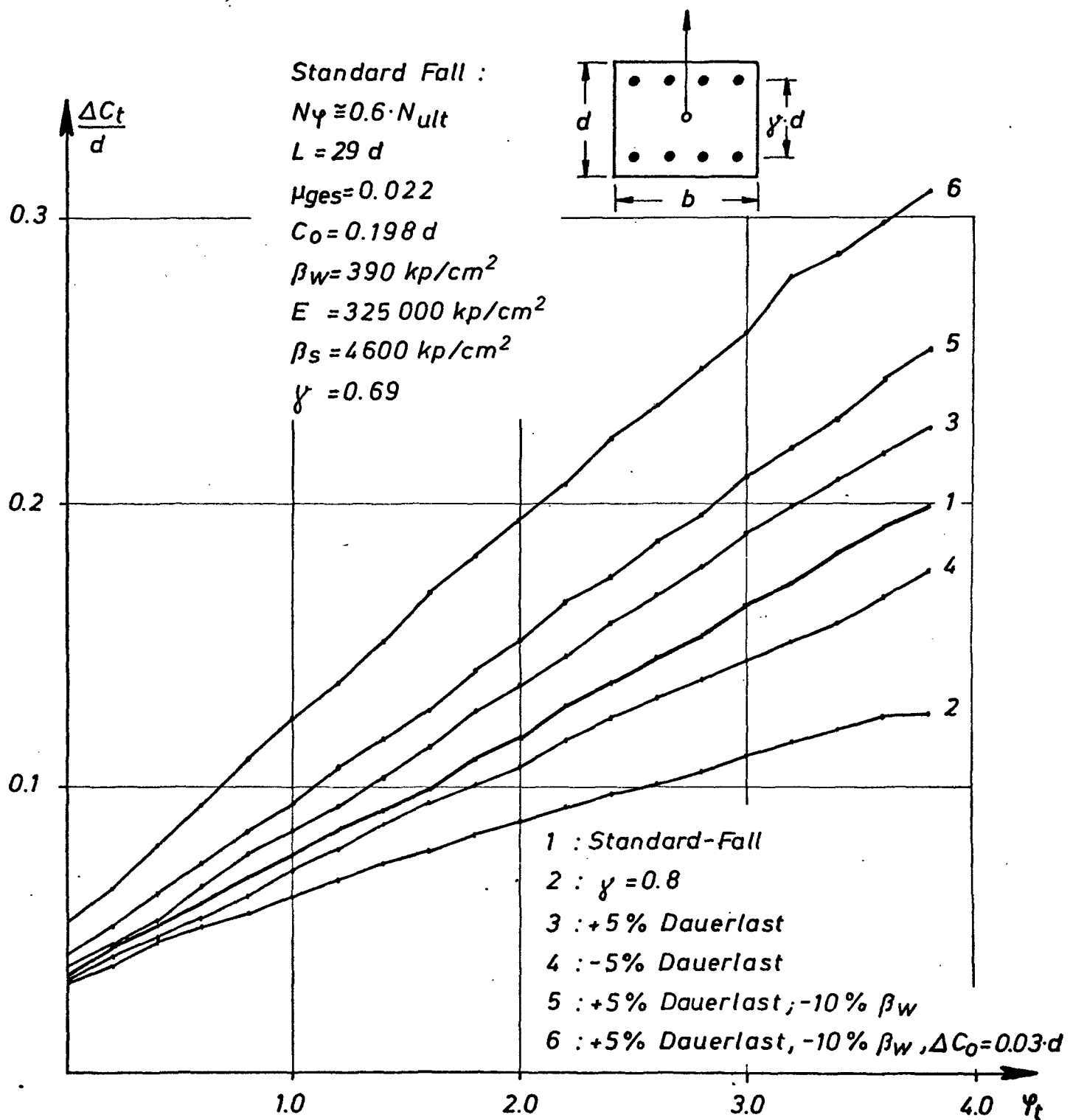


BILD 11 : EMPFINDLICHKEITS - ANALYSE

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- [1] Dischinger, F. "Untersuchungen über die Knicksicherheit, die elastischen Verformungen und das Kriechen des Betons bei Bogenbrücken".
Bauingenieur 1937, Heft 33/34, 35/36, 39/40.
- [2] Dischinger, F. "Elastische und plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und insbesondere der Bogenbrücken"
Bauingenieur 1939, Heft 5/6, 21/22, 31/32, 47/48
- [3] Warner, R.F. "Tragfähigkeit und Sicherheit von Stahlbetonstützen unter ein- und zweiachsig exzentrischer Kurzzeit- und Dauerbelastung".
Veröffentlichung in der Schriftenreihe des DAfStb. in Vorbereitung.
- [4] Habel, A. "Praktischer Stabilitätsnachweis für Bogenträger mit Berücksichtigung des Betonkriechens"
Beton- und Stahlbetonbau 1967, Heft 8
- [5] Warner, R.F. "Influence of creep and shrinkage on the behavior of reinforced concrete beams"
Vorbericht, IVBH - Symposium, Madrid 1970
- [6] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton:
Neubearbeitung von DIN 4224, Fassung März 1968
- [7] Kordina, K. und U. Quast "Bemessung von schlanken Bauteilen - Knicksicherheitsnachweis".
Betonkalender 1971